

Sobre Matemática y Ciencias Aplicadas

José M. González Rodríguez

LA REPRESENTACIÓN POPULAR del científico que desarrolla su investigación en temas abstractos, matemáticos y físicos principalmente, no se aleja notablemente del tópico que habitualmente nos proponen los tebeos. Suele caracterizarse a estos señores con aspecto distraído, atuendos desaliñados, con ropas poco o nada conjuntadas; la mirada desvaída, el pelo ensortijado y sin peinar; en definitiva imagen gemela de aquella que paseara por el mundo el científico más conocido y reconocido de nuestro siglo: Albert Einstein. Prototipo del investigador abstracto. Einstein no sólo estableció la imagen externa del científico moderno, sino también el modelo intelectual e ideológico de los académicos puros, nada interesados en la realidad. La ingente labor de divulgación que el físico-matemático desarrolló en los últimos años de su vida y su compromiso consciente con la causa judía no fue entendida ni apreciada en su justa dimensión por el grueso de la comunidad no científica. Y el fracaso de Einstein en el empeño de aportar su prestigio científico a los debates políticos y sociales de nuestro mundo nos confirma la imagen estereotipada del pensador abstracto alejado de los asuntos materiales.

Mas resulta que esta idealización tópica no se corresponde exactamente con la realidad; y, a pesar de los esfuerzos de nuestros investigadores por alejar de sus mentes problemas cotidianos o diatribas no eruditas, una buena parte de los científicos contemporáneos no sólo se ven comprometidos con cuestiones mundanas ajenas a sus intereses científicos sino que basan su investigación en la búsqueda de métodos, teorías y modelos que ayuden a interpretar la realidad y, como corolario, a transformar ésta.

Investigadores «puros» y aplicados

La Historia (en este caso la Historia de la Ciencia) nos aporta la visión retrospectiva que mejor nos ayuda a enmarcar

No existe una clara diferencia entre la envidia científica de las contribuciones en Matemáticas y Física Aplicadas o en los estudios más abstractos de estas especialidades, aunque, tradicionalmente, se haya desprestigiado a los investigadores que cultivan los procedimientos menos «puros». En todo caso, la Historia de la Ciencia y las necesidades reales de la sociedad actual inciden de forma notable en la trascendencia de los trabajos de investigación que, en mayor medida, se muestren en consonancia con los problemas reales de la vida cotidiana.

ARTÍCULOS

correctamente la idea tópica del científico despistado. Como puede comprobarse, los investigadores aplicados, imbricados en la cultura material de las sociedades en que vivieron, implicados en las transformaciones político-sociales, y nada ajenos a las cuestiones puramente materiales de la vida, han destacado en número, y, en buena medida, sobresalen por la mayor relevancia de sus descubrimientos.

Bien alejado del tópico que nos interesa se encuentran relevantes científicos como Isaac Newton, Lagrange, Joseph Fourier, Karl Friederich Gauss y tantos otros. Quien contemple sus retratos (por otra parte poco o nada identificables por la inmensa mayoría de la gente, inclusive de formación universitaria) no podrá entrever en sus semblantes serios y dignos signo alguno de «despiste» informal. Es más, muchos de ellos no sólo no rehuyeron el compromiso social sino que, además, ocuparon cargos de responsabilidad pública. Sabemos que Newton fue Administrador de la Casa de Moneda e Inspector de Pesos y Medidas; Fourier, colaborador de Napoleón Bonaparte en la campaña de Egipto, desempeñó el cargo de perfecto del departamento de Isère; y Carnot, Monge y Condorcet ocuparon escaños en la Asamblea de la Revolución Francesa.

Investigadores «puros»¹, enteramente implicados en el estudio abstracto o aplicado de la Ciencia han existido en todas las épocas y en la mayoría de las culturas. Mas, con todo, la distinción polémica entre «puros» y aplicados sólo se reconoce muy tardíamente a partir de la Revolución científica acaecida en torno a 1687 (fecha de publicación de los *Principios Matemáticos* de Isaac Newton); punto de inflexión natural del discurrir del pensamiento científico, por cuanto la creciente especialización y la imposibilidad material de poder abarcar todo el espectro de la investigación físico-matemática, provocó una clara, aunque no siempre explícita, división en la comunidad científica.

No habremos de entrar en el debate sobre el alcance de cada tipo de investigación o sobre las aportaciones de cada uno de ellos, pues sólo nos interesa indagar en la supuesta «mejor o peor» disposición de esos dos modelos de científicos para encabezar el progreso de la Ciencia e incidir en la mejora práctica del bienestar de todos los humanos. Dicho con otras palabras, nos preocupa entender y esclarecer la profunda e íntima convicción que se presupone debe guiar la correcta práctica científica. Esto es, nos cuestionamos ¿para qué investigan los científicos no experimentales? y ¿cuál es el objetivo individual que persiguen alcanzar con su esfuerzo cotidiano?

Digamos, ante todo, que esta cuestión ontológica ha preocupado e incluso obsesionado a la mayor parte de los investigadores. Desde la civilización griega hasta nuestros días, los creadores de Ciencia, bien sea abstracta o aplicada, se han visto impelidos a justificar su labor, muchas veces oscura, solitaria y poco comprendida por sus coetá-

*Desde
la civilización
griega hasta
nuestros días,
los creadores
de Ciencia,
bien sea abstracta
o aplicada,
se han visto
impelidos a
justificar su labor,
muchas veces
oscura, solitaria
y poco
comprendida
por sus coetáneos,
buscando alguna
remota o próxima
«excusa racional»
que delimitara
con precisión
el alcance
y la generalidad
de sus
descubrimientos.*

neos, buscando alguna remota o próxima «excusa racional» que delimitara con precisión el alcance y la generalidad de sus descubrimientos. Ya la escuela pitagórica incidía en una cosmovisión primitiva en la que la búsqueda de la verdad en la numerología de concepciones místicas. Visión ontológica del descubrimiento científico que se reconoce igualmente en los matemáticos y físicos del Renacimiento, y, en particular, en Galileo Galilei, quien concibió su hacer científico como una búsqueda consciente de la armonía de la creación divina en las leyes de la Naturaleza. Ideal que no ha dejado de guiar el pensamiento de los científicos occidentales y que con Gregor Cantor alcanza su expresión más clara y, al propio tiempo, angustiosa. Atormentado por su enfermedad escribía sin embargo esperanzado:

Un sino peculiar, que gracias a Dios no me ha roto en forma alguna; antes bien, me ha vuelto interiormente más vigoroso, feliz y lleno de gozo expectante de lo que he estado durante un par de años, me ha tenido apartado de mi hogar, y puedo decir que también del mundo... En mi largo aislamiento, ni las matemáticas ni más en particular la teoría de números transfinitos han dormido. (Dauben, 1983: 85).

Esta causalidad ontológica del descubrimiento científico, lejos de desaparecer en la cosmovisión particular, impregna en la actualidad la razón de un buen número de investigadores, que se aliarían conscientemente con el punto de vista del premio Nobel Chen-Ning Yang, quien, en su discurso de aceptación de tan honrosa distinción afirmaba:

La Naturaleza parece sacar partido de las representaciones matemáticas simples de las leyes de simetría. Se experimenta siempre un profundo sentimiento de respeto ante el poder de estas leyes cuando se piensa en la elegancia y la sorprendente perfección del razonamiento matemático que las subtiende, sobre todo si se compara con la complejidad y el sorprendente alcance de sus consecuencias físicas. (Boutot, 1986: 86).

Vemos así como la búsqueda incesante de la verdad y la comprensión de la compleja estructura de la realidad guía y dirige la actitud más íntima del investi-

¹ Esclarecedor calificativo que frecuentemente se asocia con las denominadas ciencias no experimentales, y, que en particular, en España se aplicó a los especialistas en matemáticas hasta fechas recientes.

gador abstracto, esté implicado o no en las contingencias diarias de la sociedad. Con todo, muchos otros investigadores se han «comprometido» más directamente en el devenir de la historia de los humanos y han basado su acción investigadora en fundamentos más próximos a la realidad concreta. Así, Condorcet, especialmente preocupado por mejorar la calidad de vidas de sus coetáneos; Morris Klein, siempre interesado en materializar el proceso de búsqueda de la verdad en actuaciones concretas en el medio social que la sustenta; e, inclusive, Jean Dieudonné, uno de los más «puros» representantes de la abstracción «bourbaquiana»; se suceden ininterrumpidamente en toda la historia de la Ciencia. Mas con todo, podemos apreciar una clara divergencia de intenciones en la actitud de estos dos grupos de investigadores. Divergencia que naturalmente cabe reconocer en todos los ámbitos de la creación científica.

Quizá podamos explicitar de mejor forma esta colisión de intereses con dos ejemplos actuales donde, de nuevo, quedan confrontados los dos motivos antagónicos que guían el trabajo de todo investigador. En concreto, el primero surge de la reciente demostración del bien conocido último teorema de Fermat. Tras más de tres siglos de investigaciones incesantes, los profesores Andrew Wilkes y Richard Taylor han conseguido, aparentemente con todo éxito, concluir la prueba definitiva de uno de los problemas más populares de la Matemática; y, casi por primera vez, su encomiable esfuerzo ha concitado el interés de los medios de información de nuestro país, muy poco atentos hacia una especialidad científica reconocible al menos como «poco popular». La noticia de la demostración conmocionó el entorno científico de estos dos especialistas del álgebra abstracta y, por extensión, a toda la comunidad matemática.

Interrogado sobre la utilidad y aplicación práctica de dicha demostración, el prestigioso matemático español, Antonio Córdoba respondía que «sería por el honor del espíritu humano»; pues en su opinión: «...ha sido un desafío

...los llamados aplicados estarían abocados a una práctica de la investigación más interesada en la mejora y transformación de la realidad social; por contra, «los puros» entenderán y en algunas ocasiones justificarán su labor sólo, y, ante todo, por la búsqueda incesante de la verdad, de la perfección o del enriquecimiento intelectual de toda la Humanidad.



Luca Paccioli

durante mucho tiempo y en el proceso de intentar demostrarlo se ha creado una gran cantidad de matemáticas, *algunas incluso útiles*» (el subrayado es nuestro) (Diario *El País*, 25-6-1993: 30).

Como contrapunto lógico y, por otra parte, absolutamente necesario de esta visión «no aplicada» de la investigación cabe anotar de nuevo como ejemplo aclaratorio, la concepción que de ésta tiene otro gran matemático universal, el estadístico hindú Calyampudi Radhakrishna Rao. Entrevistado en su visita a nuestro país con motivo de su merecido homenaje académico comenta que:

Uno de los principales objetivos de la estadística es contribuir a mejorar la calidad de vida. Estadística deriva de la palabra estado, y su significado etimológico no es otro que recoger información para tomar decisiones del tipo de cómo repartir comida o trabajo o cómo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. (Diario *El País*, 12-4-95: 24)

Queda pues meridianamente esclarecida la diatriba que separa a las dos ramas bien diferenciadas de la comunidad científica. Entonces, si nos preguntamos sobre la causa o el origen de esta bifurcación de intereses u objetivos, comparece en primer lugar la propia práctica científica que ejerce cada investigador. Esto es, los llamados aplicados (Rao como ejemplo) estarían abocados a una práctica de la investigación más interesada en la mejora y transformación de la realidad social; por contra, «los puros» entenderán y en algunas ocasiones justificarán su labor sólo, y, ante todo, por la búsqueda incesante de la verdad, de la perfección o del enriquecimiento intelectual de toda la Humanidad. Mas ocurre que la Historia de la Ciencia no confirma por entero esta divergencia de intereses, más bien nos aporta múltiples ejemplos que destruyen toda clasificación simplista.

Matemáticos aplicados como Herón de Alejandría, Setsibius o Filón elaboraron un amplio corpus de conocimientos prácticos que sólo fueron utilizados en la construcción de ingeniosos aparatos para divertimento de los monarcas. A su vez, casi toda la contribución matemática de la Europa Medieval Cristiana, desde Beda El Venerable hasta Gerberto de Aurillac, puede reducirse a la búsqueda incesante de la reforma del calendario y, como consecuencia, a la determinación precisa de la fecha de la Pascua de Resurrección (Murray, 1988). Investigación aplicada, ciertamente, pero desprovista de todo sentido práctico, y carente del más mínimo interés social.

Por contra es reconocido por la mayor parte de los historiadores de la Ciencia (Bochner, 1991: 48) que la motivación más clara y explícita del desarrollo del Álgebra abstracta a finales de la Edad Media convergió con las necesidades de la contabilidad que se precisaban en los emergentes focos del comienzo del capitalismo; La Hansa, etc. Matemáticos como Leonardo de Pisa (Fibonacci, 1200-1256), Luca Paccioli (1445-1514) o Simón Stevin (1548-

1620), no sólo contribuyeron notablemente a la consolidación de los métodos de esta disciplina matemática, sino que a su vez, y principalmente, facilitaron el desarrollo de la economía apuntalando así la íntima conexión entre ésta y la matemática². Este particular interés de los investigadores renacentistas en el uso directo y aplicado de sus innovaciones no desapareció en el posterior desarrollo del Álgebra abstracta; y, ya en nuestro siglo, son reconocibles no pocas aplicaciones de esta rama de la Matemática. En particular, la teoría de grupos, que poco o nada parece deber a las contingencias materiales, permitió la predicción de Murray Gell-Mann y Yuval Ne'eman de la existencia de la partícula Ω ; más tarde detectada en el laboratorio Nacional de Brookhaven en 1964.

A Emmy Noether (1881-1935), algebrista y mujer, se le debe un teorema aplicable en el cálculo diferencial que recientemente fue recogido por Cheng-Ning Yang y Robert Mills en su teoría lenguaje de unificación de campos, quizá el modelo más perfecto y completo de interacción de la realidad física con la abstracción formal (Boutot, 1986: 81).

Ideología y Ciencia

Las diferencias ideológicas o religiosas tampoco decantan la predisposición de un científico sólo hacia la búsqueda formal de la verdad, ni confiere a su práctica investigadora una particular visión de su trabajo. Basta recordar la ingente labor desarrollada por todos los matemáticos y físicos de la Revolución Francesa: Carnot, Monge, Laplace, Legendre, Lagrange y Condorcet entre otros; quienes ajenos a sus diferencias ideológicas (Carnot y Monge fueron destacados defensores de la Revolución, participando incluso en la organización militar de la Asamblea; por el contrario, Lagrange y Legendre sirvieron complacidos la monarquía, por lo cual recibieron múltiples reconocimientos) emprendieron tareas tan esenciales para el posterior avance material de la Humanidad como fuera la formalización del SMI, la «mayor invención de la Humanidad» según la Lavoisier (González, 1991).

Tal práctica social de la Ciencia coexistía en estos matemáticos con diferentes concepciones de su utilidad y significación. Así, según recoge C. Boyer (1986: 620):

Las mentalidades de Laplace y de Lagrange, los dos matemáticos más importantes de la Revolución, eran diametralmente opuestas en muchos aspectos. Para Laplace la naturaleza era lo esencial, y la matemática no era más que una caja de herramientas que él sabía manejar con extraordinaria destreza. Para Lagrange la matemática era un arte sublime que justificaba por sí mismo su existencia.

y de Condorcet nos informa el mismo autor (1986: 595):

Condorcet, que era un fisiócrata, un filósofo y un enciclopedista, perteneció al círculo de Voltaire y de D'Alembert. Fue un mate-



L. Kronecker



G. Cantor

mático competente que publicó libros sobre teoría de probabilidades y sobre cálculo integral, pero también fue un inquieto idealista y visionario que se interesaba por todo lo que tuviera que ver con el bienestar de la Humanidad. Condorcet sentía, como Voltaire, una profunda aversión por la injusticia y, a pesar de conservar su título de marqués, había visto tantas desigualdades injustas en el *Ancien Régime*, que se dedicó a escribir y a trabajar en favor de la reforma. Con una fe implícita en la posibilidad de perfeccionamiento de la humanidad, y creyendo que la educación conseguiría eliminar el vicio, defendió la educación pública y libre.

Esta multiplicidad de criterios ideológicos de las distintas prácticas científicas también es reconocible en la más conocida (y quizá prestigiosa) escuela de matemáticas de nuestro siglo: el grupo Bourbaki. Es bien conocido que entre los miembros de esta familia matemática convivían las más dispares afiliaciones políticas (siendo J. Dieudonné y S. Eilenberg los representantes señeros de los polos opuestos) con una única visión del acontecer científico. Por el contrario, si bien los biógrafos de Evariste Galois han rodeado la vida de este insigne innovador de múltiples leyendas, es bien cierto que Agustín Cauchy se olvidó sancionar el primero de los revolucionarios trabajos que el joven Galois enviara a la Academia de Ciencias; y también pudo ocurrir que este «descuido histórico» tuviera que ver con la diferencia ideológica que claramente separaba a ambos matemáticos. Revolucionario Galois, enfrentado directamente con la restauración de la monarquía (por cuyas actividades «delictivas» fuera encarcelado); decidido partidario de la involución conservadora el eminente A. Cauchy (Rothman, 1982: 94). También es conocida la enconada rivalidad científica que se diera entre L. Kronecker y G. Cantor en la segunda mitad del siglo XIX, debida a simples celos profesionales, o alimentada por el posicionamiento religioso antagónico de ambos. Mientras Leopold Kronecker, próspero hombre de negocios, defendía una visión conservadora, cuando no, fundamentalista, de la inter-

² A Luca Paccioli se le atribuye la paternidad de la moderna contabilidad de doble entrada y, por otra parte, Stevin, claramente implicados en la lucha contra la España católica encabezado por Guillermo de Orange, se reconoce como el mayor difusor renacentista de la práctica económica.

vención divina en la ciencia, G. Cantor profesó una fe cristiana mucho más próxima a la teología social que representaba en esa época el papa Alejandro XIII con quien llegó a intercambiar frecuente correspondencia.

Entorno social y Ciencia

Vemos, por tanto, que la afiliación ideológica o las creencias religiosas nada determinan la «ideología» científica de los investigadores no experimentales. Quizá únicamente se puede reconocer una cierta predisposición hacia alguna de las dos concepciones de la ciencia dentro del entorno de cada cultura particular y de cada momento histórico en el que se desarrolle la investigación. Se conoce meridianamente bien cómo se produce el proceso de ósmosis de las características culturales de cada grupo humano diferenciados entre sus científicos (Lizcano, 1993; Camino Cañón Luyes, 1993) y suele asociarse cada cultura histórica con un modelo prefijado de ciencia. Mas esta visión reduccionista de la práctica científica tampoco explica por entero la disposición particular de cada uno de los investigadores.

Si bien los desarrollos matemáticos, astronómicos y metrológicos de la Antigüedad se encontraban íntimamente conectados con las aplicaciones prácticas: las contabilidades mercantiles originaron las primeras cifras de la Historia en Mesopotamia (Friberg, 1976; Ifrah, 1998) las mediciones de las tierras anegadas por el crecimiento del Nilo, provocaron el florecimiento de la matemática egipcia, según reconoce Herodoto en el capítulo 109 del II libro de su Historia (Bochner, 1991: 34); estos se encuentran siempre acompañados por actividades de indagación científica, poco o nada, aplicables a las tareas diarias. El asombroso calendario ideado por los sacerdotes mayas (Ifrah, 1998; Aveni, 1980) servía

...en ninguna cultura histórica, ni siquiera en cada modo particular de organización de la sociedad cabe destacar un único y universal modelo de indagación científica.

tan sólo para ordenar correctamente las festividades y como justificación de las agoreras (o no) predicciones de los sacerdotes, y Aristóteles en su *Metafísica* nos informa de que las matemáticas fueron creadas por los egipcios, «porque su clase sacerdotal disponía de suficiente tiempo libre para dedicarse a tales investigaciones» (Bochner, 1991: 35).

Justamente la concepción puramente formal del indagar matemático que parece apuntarse en la mentalidad occidental con el advenimiento de la cultura griega (no por casualidad Aristóteles concebía de tal forma el quehacer matemático de los egipcios) nos persigue desde entonces. Mas ocurre que, si bien los matemáticos griegos sólo «se entretenían» en consideraciones geométricas abstractas, dejando el pesado trabajo del cálculo para los esclavos (González, 1992), en toda la cultura de la Grecia Clásica, y posteriormente en el periodo Helenista, la sucesión continua de matemáticos aplicados fue ingente: Tales, Arquímedes, Herón, Ptolomeo, etc.

En definitiva, en ninguna cultura histórica, ni siquiera en cada modo particular de organización de la sociedad cabe destacar un único y universal modelo de indagación científica. El renacer de la cultura grecolatina en el Renacimiento europeo aglutinó tanto la abstracción matemática que impregnaba los textos de Euclides o Apolonio como el compendio de aplicaciones recogido por la tradición hindo-árabica³; y no podemos prejuzgar que las aportaciones de Descartes, Bombelli y otros estudiosos entusiastas de los libros griegos (que, por otra parte, fueron traducidos por matemáticos árabes) caracterizaran la cultura renacentista en mayor medida que aquellas que asociábamos con Paccioli o Stevin.

Únicamente cabe destacar la particular influencia de determinados acontecimientos históricos en la mentalidad científica, de tal modo que estos cambios estructurales: Revolución Francesa, Primeros Movimientos Revolucionarios, etc., inclinan firmemente la balanza a favor de la cosecha de investigadores aplicados (digamos mejor: de mentalidad aplicada). De nuevo el «imaginario colectivo» (Lizcano, 1993) de la sociedad determina en buena medida el concepto y la aplicabilidad de la ciencia.

A modo de conclusión

Cabe concluir, por tanto, que ninguna de las dos formas contrapuestas de hacer ciencia: ciencia básica o ciencia aplicada se recoge como preferible o más productiva e innovadora. No determina su relevancia científica ni su

³ La matemática de los árabes recogió perfectamente las innovaciones hindúes (los numerales son el ejemplo emblemático) que en su cálculo siempre estuvieron interesados en las aplicaciones cotidianas (regla de tres, interés).

interés material, ni siquiera su posible aplicabilidad futura. En consecuencia, ningún argumento puede convencer a un investigador neófito en el momento de escoger su particular ejercicio de la Ciencia. Sólo la individual e íntima convicción propia de cada investigador, «su» responsabilidad científica y «su» compromiso con la sociedad le situarán en «la» correcta disposición de «su» línea de investigación. Mas con todo, sí que podemos comentar al menos dos circunstancias que delimitan en el momento actual, en la España de fin de siglo, la «correcta» disposición de todo investigador.

En primer lugar, como quiera que nadie discute la importancia de la inversión en Investigación y Desarrollo I + D, la investigación básica (olvidemos por tanto el término abstracto) actúa como impulsor y catalizador de todo el esfuerzo que se haga en I + D, y será obligación del Estado financiarla. Pero, habida cuenta de que, siendo la sociedad en su conjunto quien sostiene y financia la búsqueda científica, la comunidad pública habrá de dotarse de los mecanismos precisos para valorar en distinta medida las aportaciones de sus investigadores. Esto es, si bien nadie debe quedarse fuera en el reparto del presupuesto; ante todo y sobre todo, el Estado, representante de todos los ciudadanos, deberá priorizar su aportación en I + D, incentivando económicamente las áreas de investigación que, en acuerdo y consenso público, se consideren más determinantes para el desarrollo material de todos. Reconocido este principio, cada investigador se adscribirá libremente al tipo de investigación que más y mejor responda a sus inquietudes científicas, y resolverá su particular compromiso social de acuerdo a la relevancia que le otorgue a su práctica.

En segundo término, como en nuestra sociedad española de finales del siglo xx, la inmensa mayoría de los que desarrollamos labores de investigación básica (cuando no la totalidad), ejercemos a su vez de educadores (tarea por la que se nos asigna un papel social concreto y una identificación laboral específica⁴), nos corresponde el doble reto de profundizar tanto en nuestra búsqueda constante de la verdad científica como en extraer de su práctica, la sabiduría y la experiencia necesaria para mejorar y enriquecer nuestro quehacer docente. En mi opinión, quien actúe ajeno a esta vocación, sólo dispuesto a desarrollar una penosa y árida búsqueda científica, no sólo se aleja del mundo real que lo circunda, justificando, por tanto, la desalentadora imagen del científico distraído que caricaturizábamos al comienzo de estas páginas; sino que descuida a su vez su auténtica trascendencia. Optar por investigación básica o aplicada no determina la naturaleza social del científico; quien compromete su investigación y su tra-

*Sólo
la individual
e íntima
convicción propia
de cada
investigador,
«su»
responsabilidad
científica
y «su» compromiso
con la sociedad
le situarán
en «la» correcta
disposición
de «su» línea
de investigación.*

4 Cuan difícil resulta hacerse entender por una persona ajena de nuestra actividad diaria sobre el motivo y la justificación de nuestro trabajo de investigador.

José M. González
Facultad de Ciencias
Económicas.
Universidad de La Laguna

bajo con los hombres y mujeres con los que con vive si especialmente lo hace con sus alumnos.

Bibliografía

- AVENI, A. (1980): *Observadores del cielo en el México antiguo*, Fondo de Cultura Económica, México DF.
- BOCHNER, S. (1991): *El papel de la Matemática en el desarrollo de la Ciencia*, Alianza Universidad, Madrid.
- BOUTOT, A. (1986): «El poder creador de las Matemáticas», *Mundo Científico*, n.º 98, 787-87.
- BOYER, C. R. (1986): *Historia de la Matemática*, Editorial Alianza Universidad, Madrid.
- CLINE, D. B. y otros (1976): «La búsqueda de nuevas familias de partículas elementales», *Investigación y Ciencia*, Octubre de 1976, 20-31.
- DAUBEN, J. W. (1983): «Gregor Cantor y la teoría de conjuntos transfinitos», *Investigación y Ciencia*, agosto de 1983, 82-93.
- FILLAT, M., NÚÑEZ ESPALLARGAS y J. SERVAT (1989): «La influencia de la Revolución Francesa en la enseñanza elemental de la Matemática», *Suma*, n.º 4, 21-26.
- FRIBERG, J. (1976): «Número y medidas en los primeros documentos escritos», *Investigación y Ciencia*, número especial
- GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, J. M. (1991): «Historia de la Formalización de un sistema único de medidas», *Actas del Simposio «Agustín de Bethencourt»*, Puerto de la Cruz, Tenerife.
- GONZALEZ RODRIGUEZ, J. M. (1992): «La matemática aplicada y la cultura material en Grecia», *Seminario Orotava de Historia de la Ciencia*, Santa Cruz de Tenerife.
- IFRAH, G. (1998): *Historia Universal de las cifras*, Espasa Fórum, Madrid.
- LIZCANO, E. (1993): *Imaginario colectivo y creación matemática*, Gedisa, Barcelona.
- MURRAY, A. (1982): *Razón y Sociedad en la Edad Media*, Taurus Ediciones, Madrid.
- PARADIS, J. y otros (1989): *El Álgebra en el periodo renacentista*, PPU, Barcelona.
- ROTHMAN, T. (1982), «La breve vida de Evariste Galois», *Investigación y Ciencia*, Junio de 1982, 90-100.