

# Las matemáticas están en todas partes



Adolfo Sánchez Valenzuela

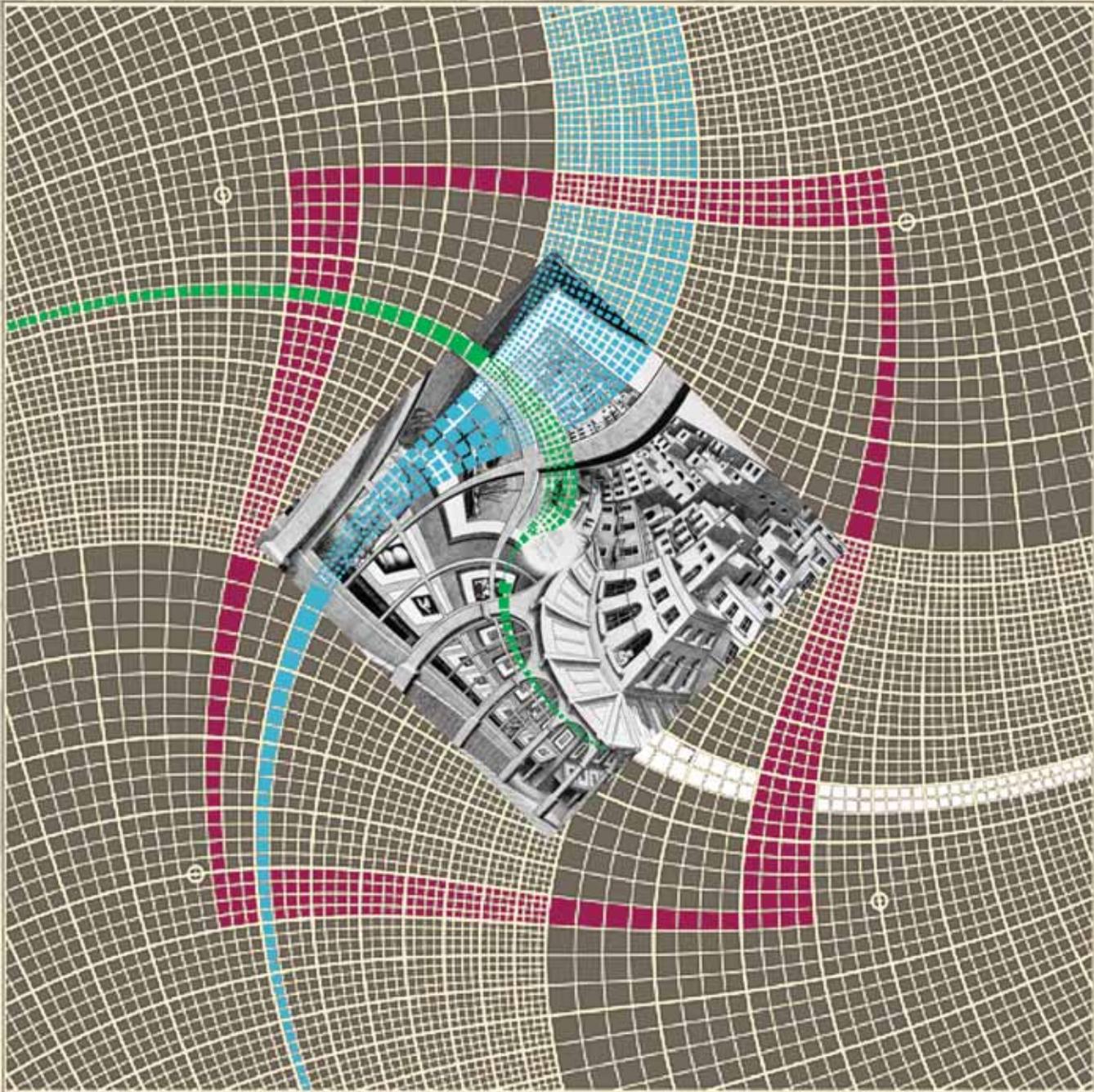


A diferencia de lo que sucede en países con economías robustas y altos niveles de desarrollo, en México aún se tiene que justificar la importancia y pertinencia de capacitarnos mucho mejor para utilizar las matemáticas. Todavía se está muy lejos de integrarnos cabalmente a la cultura de la llamada sociedad del conocimiento.

Imaginemos que un cierto distrito electoral tiene un padrón de mil votantes y que, como resultado de las elecciones, se determinará quién será el representante o diputado de dicho distrito en el Congreso Legislativo. Vamos a suponer que los votantes pueden elegir entre tres candidatos, y que el día de las elecciones los resultados fueran así: el diputado del partido A obtuvo 331 votos, el del partido B, 332 votos, y el del partido C, 333 votos. Además, hubieron cuatro votos anulados.

Es claro que si los votos anulados hubieran sido válidos y emitidos a favor del partido A, éste habría ganado, o que si hubieran sido válidos y a favor del B, el B habría ganado. ¿Quién va a representar a este distrito en el Congreso? ¿El candidato del partido C, que obtuvo la mayoría absoluta? ¿Por qué habría de ser éste un buen representante de *toda* la población si solamente obtuvo un tercio del total de votos? ¿No sería esto un “virtual empate”? ¿Qué alternativa habría para balancear la representación de esta población en el Congreso: permitir que los tres sean nombrados diputados representantes de dicho distrito, apelando a un principio democrático elemental?

Un problema de esta naturaleza tendría que haber sido considerado o anticipado en las leyes electorales, y deberían ofrecerse salidas democráticas ante una tal situación. En este ejemplo se antoja razonable llevar a los tres contendientes de este distrito electoral al Congreso. De hecho, hacerlo de esta manera es una figura que existe en muchas leyes electorales, y así se declara que los candidatos de





los partidos A y B, si bien no obtuvieron una mayoría absoluta, serán miembros del Congreso y fungirán como representantes de su distrito en calidad de *diputados de representación proporcional* o, como se les conoce más ampliamente en México, *plurinominales*. ¿Cuántos diputados plurinominales son necesarios? En muchas situaciones puede ser que ninguno; pero eso, a la luz del ejemplo dado, parece que lo tendrían que “decidir” las elecciones mismas, según los resultados y de acuerdo con los intervalos y criterios contemplados en las leyes para asignar plurinominales.

Este ejemplo, frente a las elecciones presidenciales de julio de 2012 en nuestro país, dispara sin mucha dificultad otra situación hipotética concebible: que como resultado de las votaciones para elegir presidente de entre cuatro candidatos posibles, en un padrón de, supongamos, 70 millones de votantes, tres de ellos, digamos A, B y C, terminen con aproximadamente 20 millones de votos a su favor y que las diferencias entre cualesquiera dos de ellos sean muy pequeñas –del orden de 23 000, lo que representa la tercera parte de un 0.1% del total de votantes– y que además el número de votos anulados sea del orden de 70 000. Está claro que, en el caso de las elecciones para presidente, la salida de declarar un virtual empate y llevar a los tres a la presi-

dencia no parece razonable. Sin embargo, nuevamente, una situación de esta índole debería estar prevista en las leyes electorales para ofrecer salidas democráticas viables y satisfactorias.

Decidir ante un tribunal electoral quién de los tres sería el ganador es solamente una de muchas posibilidades. Por ejemplo, ¿es mejor dejar dicha decisión a un tribunal que permitir una nueva votación de todo el padrón para decidir entre los tres contendientes virtualmente empatados? Una pregunta tan inocente como ésta comenzará a disparar muchas otras, y de entre ellas se podrán extraer diferentes ideas para proponer salidas democráticas viables y satisfactorias que deberían estar contempladas en las leyes.

Para los científicos, cada una de esas salidas es susceptible de estudiarse desde muchos puntos de vista. Los matemáticos cuentan con muchos enfoques, como la optimización y la teoría de juegos, por medio de los cuales se podrían abordar *a priori* algunas de las posibilidades más inmediatas. Hay mucho trabajo interdisciplinario por organizar y coordinar con el fin de llevar ante los legisladores una propuesta de ley que con todo rigor haya sido previamente estudiada y probada, lo que en este contexto puede significar que haya sido *modelada y simulada* en un marco que incluye, evidentemente, un trabajo matemático importante. Entre otras cosas, lo que esto requeriría es que los legisladores pudieran nutrirse de los beneficios del conocimiento científico y tecnológico antes de considerar la aprobación de una ley como la de este ejemplo.

El punto a resaltar es que hay matemáticas involucradas en muchos niveles a lo largo incluso de un rutinario proceso electoral que a la ciudadanía le dice mucho de muchas cosas, pero que no le habla de la matemática que podría estar detrás o que mucho ayudaría si lo estuviera. Desde un hipotético estudio que pudo haberse hecho *a priori* sobre las posibles “mejores salidas” o alternativas que deberían ofrecer las leyes ante circunstancias extremas y especiales, hasta los muestreos, conteos rápidos y transmisión en línea de las tendencias de los votantes durante el día de las elecciones. Además, resulta muy importante observar los efectos del flujo moderno de información que tiene lugar a través de las redes sociales por su capacidad de influir instantáneamente en muchas opiniones y cam-



biar tendencias o producir movimientos o manifestaciones públicas importantes.

Éste es un buen momento para referirme concretamente a la reunión general *Ciencia y humanismo*, organizada por la Academia Mexicana de Ciencias en enero de 2012, y dentro de la cual se realizaron diferentes ciclos de conferencias en las diversas áreas de las ciencias y las humanidades. En la sección dedicada a las matemáticas, por ejemplo, el motivo temático fue precisamente el de transmitir el mensaje de que las matemáticas están involucradas en todas partes y a todos los niveles de la vida diaria. Así, por ejemplo, se hizo patente que “hay simetría en todas partes”, “hay geometría en todas partes”, “hay complejidad en todas partes”, “hay caos en todas partes”, como ocurre prácticamente con todas las ramas de la matemática básica.

“Las matemáticas están en todas partes” fue el título que se le dio a la serie de ocho conferencias especializadas en matemáticas dentro del referido congreso. Las charlas versaron sobre diversos temas:

- *Mapas cerebrales*, una aplicación de las técnicas analíticas y geométricas de la variable compleja al estudio de la topografía del cerebro humano, a cargo de Michael Porter, del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav).
- *Aventuras en hipérbola*, una exploración visual de nuestra percepción en un mundo en el que la geometría es hiperbólica y no euclidiana, a cargo de Michael Barot, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM; véase su artículo en este número de *Ciencia*).
- *Caos en todas partes*, una explicación de lo fácil y común que puede resultar la evolución hacia el desorden y la aleatoriedad en las leyes de la naturaleza, a cargo de Renato Iturriaga, del Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. (CIMAT).
- *Coreografías de la mecánica celeste*, una visualización de los movimientos posibles, periódicos y armoniosos, que resultan de resolver las ecuaciones de la interacción gravitacional newtoniana en geometrías como la habitual o con cierta curvatura característica, a cargo de Ernesto Pérez Chavela, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- *Simetría en todas partes*, una exposición de cómo muchas propiedades geométricas y leyes de la física se organizan bajo esquemas que, en sus componentes más sencillas, partículas o elementos, están basados en simetrías o arreglos simétricos, a cargo de Javier Bracho Carpizo, de la UNAM.
- *Geometría tropical*, una exploración guiada sobre las implicaciones geométricas que resultan cuando las operaciones usuales de sumar y multiplicar números reales se reemplazan, respectivamente, por el mínimo de las cantidades involucradas (suma tropical) y por su suma ordinaria (multiplicación tropical), a cargo de Jacob Mostovoy, del Cinvestav.
- *Complejidad en todas partes*, una presentación de cómo el comportamiento colectivo de sistemas (poblaciones, agregados de muchas partículas, o elementos o componentes) puede modelarse y simularse a partir de principios comprensibles que rigen la interacción inmediata y más básica de sus partes, a cargo de Alejandro Frank, de la UNAM.
- *Redes científicas y sociales*, sobre la importancia de comprender y modelar matemáticamente el comportamiento y la dinámica de las redes sociales, a cargo de José Antonio de la Peña, del CIMAT.





Un país que aspira  
a desarrollar  
tecnología que  
resuelva problemas y que mejore la vida  
de sus ciudadanos debe prestar atención  
al fortalecimiento de las ciencias básicas  
y a la formación  
de profesionales de  
la matemática

En particular, la ponencia del doctor De la Peña evidenció cómo las matemáticas pueden mostrarnos, por ejemplo, que el estudio la diseminación de opiniones a través de Internet y de las redes informáticas viene al caso en el marco del ejemplo de los diputados plurinominales: uno puede encontrar en *YouTube* un video de un conocido comentarista y conductor de un noticiero de televisión en el que se expresa vehementemente en contra de la existencia de los diputados plurinominales (Ferriz de Con, 2012).

De aquí surge la reflexión de que ahora, *a posteriori*, puede resultar muy difícil explicarle a la población –y en especial al sector de seguidores del noticiero conducido por este comentarista– la potencial importancia de contar con alternativas como la de los diputados de representación proporcional. El punto es que, aun centrándose en el ejemplo hipotético expuesto en el primer párrafo de este texto, con los datos numéricos manejados para que el argumento resulte elocuente, una vez que un popular comunicador de los medios masivos emite una opinión, ésta influye tan fuertemente en la opinión pública que intentar cambiarla apelando a una información más completa o mejor fundamentada, puede ser prácticamente imposible, independientemente de contar con evidencia documentada –como en este ejemplo– de que el comentarista omitió tocar aristas relevantes del tema sobre el que opinó.

En una declaración reciente, José Antonio de la Peña señaló también que “la información vasta e inteligente es quizá la mejor herramienta para que la sociedad pueda asegurar un futuro de libertad y democracia”, y que “una buena educación en matemáticas puede contribuir a la creación de ciudadanos críticos y apoyar los ideales democráticos” (*La jornada*, jueves 31 de mayo de 2012). Cabe mencionar que estos puntos de vista llevan ya mucho tiempo expresándose en diferentes países con el fin de influir en las directrices que deben seguir las políticas de Estado en materia de educación en general, y en particular del aprendizaje de las matemáticas.

Un ejemplo paradigmático es quizás el de Mogens Niss, de la Universidad de Roskilde, en Dinamarca. Hace más de diez años él estuvo a la cabeza de un gran proyecto nacional llamado *Mathematical competencies*

*and the learning of mathematics: The Danish Kom project*, cuyo objetivo era cambiar el enfoque educativo de las matemáticas a fin de que en lugar de centrar la atención en el aprendizaje de temas específicos pudiera privilegiarse el desarrollo de habilidades como el pensamiento lógico, la abstracción, la modelación y el planteamiento y resolución de problemas, entre otras. En opinión de Mogens Niss, “la democracia es una broma si los ciudadanos son analfabetos en matemáticas” (Niss, s/f).

Otro punto sobre el que hay que llamar la atención es el hecho de que desde hace diez años se haya abordado seriamente en Dinamarca el problema de la enseñanza de las matemáticas bajo una iniciativa de la mayor importancia nacional. Desde hace años también, otros países en el mundo se comenzaron a mover con gran velocidad y altísima prioridad para concertar inversiones conjuntas, gubernamentales y privadas, con el propósito de mejorar la enseñanza de las matemáticas en particular y desarrollar los potenciales talentos a fin de conseguir, en un plazo relativamente corto, más y mejores científicos. En los Estados Unidos, por mencionar un ejemplo cercano, la empresa ExxonMobil comprometió más de 100 millones de dólares en respaldo de la Iniciativa Nacional en Matemática y Ciencia del gobierno de ese país (ExxonMobil, s/f).

Un país que aspira a desarrollar tecnología que resuelva problemas y que mejore la vida de sus ciudadanos debe prestar atención al fortalecimiento de las ciencias básicas y a la formación de profesionales de la

matemática. México tiene una planta de investigación científica básica muy pequeña aún, y en particular el número de matemáticos activos en investigación o en aplicaciones tecnológicas es preocupantemente reducido. Por ejemplo, podemos estimar que hay menos de mil matemáticos acreditados por el Sistema Nacional de Investigadores, lo cual contrasta enormemente con el siguiente dato: en Estados Unidos se gradúan precisamente cerca de mil doctores al año en matemáticas puras o aplicadas.

En diversas ocasiones, los matemáticos mexicanos hemos insistido en que nuestra disciplina es una piedra fundacional de las ciencias básicas y una de las principales herramientas de las ciencias aplicadas y las ingenierías. Es un hecho que los países con economías competitivas y poseedores de un gran desarrollo tecnológico son también los que han mantenido un apoyo firme al desarrollo de sus ciencias básicas; su estrategia es clara en tanto que obtienen tecnología sólida respaldada por principios científicos bien fundados. De hecho, no debe sorprendernos que la matemática respalde el funcionamiento de prácticamente todos los artefactos e instrumentos con los que interactuamos a diario.

La matemática permite modelar muy diversos fenómenos y procesos de la realidad; también simular experimentos que podrían ser muy costosos si se llevaran a cabo en realidad. Esos modelos y simulaciones facilitan predecir resultados, tendencias e incluso comportamientos humanos que develan patrones colectivos;





éstos, a su vez, pueden resultar determinantes para la toma de decisiones en diversos ámbitos.

Contando con datos adecuados, es posible pronosticar la manera en que se puede diseminar una enfermedad como la influenza; es posible pronosticar la producción que tendrá un grupo de yacimientos petroleros, así como predecir los movimientos y el comportamiento de los mercados, sólo por citar algunos ejemplos. Es más, se pueden estructurar modelos o anticipar resultados, con grandes márgenes de confiabilidad, para tomar decisiones urgentes o ahorrar costos, aun cuando no se cuente con suficiente evidencia empírica.

Los matemáticos resuelven problemas cuyas soluciones ayudan a los tomadores de decisiones a aplicar políticas, a tomar medidas, o a corregir rumbos de una manera científicamente respaldada y tan verídica o confiable como resulte la calidad de la información o los datos empleados para implementar el modelo o simulación correspondiente. Piénsese en medidas de sanidad ante una epidemia, o en estrategias de inversión y recuperación económica ante una caída de los mercados, o en cómo optimizar o limitar la explotación de ciertos recursos naturales favoreciendo la renovación de los mismos.

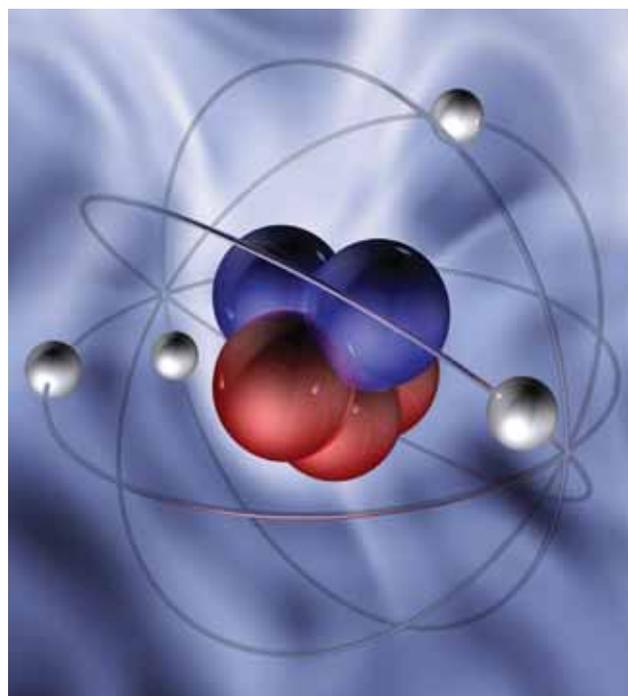
Las matemáticas están verdaderamente en todas partes y detrás de todo lo que vemos, tenemos y hacemos en el día a día, a pesar de que el grueso de la población no tenga una conciencia clara de ello. Es a base de matemáticas que se desarrollan incontables dispositivos o sistemas para ahorrar energía, para ordenar y organizar la circulación de vehículos de todo tipo (como en puertos marítimos, puertos aéreos, calles de una ciudad, transporte colectivo, redes ferroviarias, etcétera), para optimizar todo tipo de líneas de producción o de explotación de recursos naturales, para predecir diversas situaciones, desde cambios en los movimientos comerciales o financieros hasta el comportamiento o evolución de posibles catástrofes naturales como incendios, terremotos, tsunamis o epidemias.

Las teorías de las interacciones fundamentales de la física, por ejemplo, son producto de modelos matemáticos altamente elaborados. Durante mucho tiempo, "física matemática" fue casi un sinónimo de análisis matemático aplicado principalmente al estudio de las ecuaciones diferenciales planteadas por la física teóri-

ca. Ello condujo a una gran depuración de las técnicas para resolver y analizar el comportamiento de las soluciones de tales ecuaciones, aunque el papel de la matemática era el de una herramienta para atacar los problemas planteados por la física.

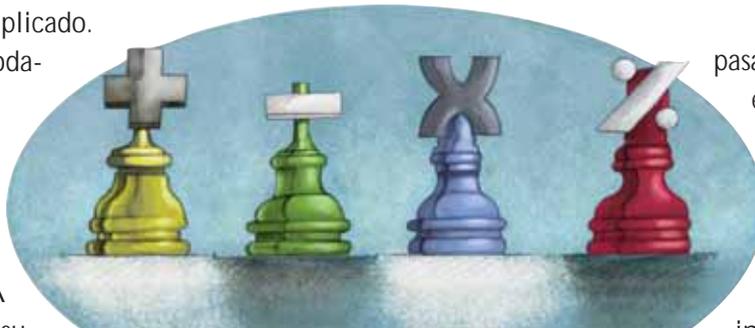
Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XX, y tras el auge de las llamadas teorías de norma (o de Yang-Mills) que han sido el resultado de combinar exitosamente las ideas geométricas inspiradas en la teoría de la relatividad con las ideas algebraicas de la mecánica cuántica y la organización de los constituyentes básicos de la materia a través de principios de simetría, fue posible llegar a lo que conocemos hoy en día como el *modelo estándar* de las interacciones fuertes, débiles y electromagnéticas. Y a pesar de que algunos elementos de este modelo fueron desarrollados desde la década de los sesenta, algunas predicciones están ahora al alcance de los más elaborados experimentos, como por ejemplo evidenciar la existencia del bosón de Higgs, e indirectamente el mecanismo de rompimiento espontáneo de la simetría con el que el modelo explica cómo es que las partículas que median entre dichas interacciones adquieren masa y reflejan el comportamiento observado.

Para recapitular, la matemática es importante, y hay matemática detrás de todo: desde lo más funda-



mental, hasta lo más aplicado.

En México tenemos todavía mucho que aprender y qué hacer para apreciar esta actividad profesional y explotar apropiadamente su gran potencial. A diferencia de lo que su-



cede en países con economías robustas y altos niveles de desarrollo industrial y tecnológico, en los que la profesión matemática goza de un gran prestigio y reconocimiento por parte de gobierno y ciudadanos, y en los que existen inversiones e iniciativas importantes que de manera continua fortalecen y hacen avanzar el conocimiento en las diferentes ramas de la disciplina, en México aún tenemos que estar justificando hasta el cansancio la importancia y pertinencia de capacitarnos todos mucho mejor para utilizar la matemática; ya no digamos de invertir en grandes proyectos, sino de cubrir y atender las necesidades más elementales. De hecho, los inversionistas y empresarios mexicanos están lejos aún de asimilar la importancia de contar con cuadros de investigación básica y aplicada que fortalezcan y garanticen la sustentabilidad y las bases de sus inversiones y empresas; en términos reales estamos muy lejos de integrarnos cabalmente a la cultura de la llamada sociedad del conocimiento.

Para corregir oportunamente esta situación, resulta fundamental contar con una política inteligente y congruente, con objetivos claros en materia de educación y de desarrollo científico y humanístico, que a la postre permita conseguir y garantizar una mayor independencia tecnológica de México, así como activar y detonar una economía fuerte que garantice sustentabilidad y generación de empleos, y que derive en bienestar y justicia social.

El gran reto es no dejar pasar más tiempo y atender esta urgente demanda con determinación y primerísima prioridad. La reunión general *Ciencia y humanismo*, celebrada a principios de 2012 por iniciativa de la Academia

Mexicana de Ciencias, nos dio a los matemáticos –como a todos los especialistas de las ciencias y las humanidades en México– la oportunidad de poner énfasis en la importancia de nuestras actividades para contribuir al futuro próspero, libre y soberano de nuestra nación.

**Adolfo Sánchez Valenzuela** es, desde 1988, investigador del Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT). Sus estudios de licenciatura y maestría fueron en física, y los realizó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Hizo su doctorado en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Harvard (1986). Sus áreas de especialidad son la geometría diferencial y la teoría de grupos y álgebras de Lie, con particular interés en sus aplicaciones a la supersimetría.  
adolfo@ciamat.mx

#### Lecturas recomendadas

- Ferriz de Con, Pedro (2012), "No a los plurinominales- Revolución del intelecto", cápsula de video, YouTube, 6 de marzo. Disponible en <[www.youtube.com/watch?v=m4nN9R757Q8](http://www.youtube.com/watch?v=m4nN9R757Q8)>.
- Niss, Mogens (s/f), "Mathematical competencies and the learning of mathematics: the Danish Kom project", manuscrito. Disponible en <[http://w3.msi.vxu.se/users/hso/aaa\\_niss.pdf](http://w3.msi.vxu.se/users/hso/aaa_niss.pdf)>.
- ExxonMobil (s/f), "National math and science initiative", página web. Disponible en <[www.exxonmobil.com/Corporate/community\\_math\\_nmsi.aspx](http://www.exxonmobil.com/Corporate/community_math_nmsi.aspx)>.