



“Un matemático aplicado es aquel que trabaja con datos reales”

Alfio Quarteroni, matemático, entrevistado por **Enrique Zuazua**.

Alfio Quarteroni es uno de los científicos más reconocidos e influyentes del mundo en el ámbito de la matemática aplicada e industrial. Es director de la Cátedra de Modelización y Computación en la Universidad Politécnica Federal de Lausana (EPFL) en Suiza y director científico en el Laboratorio de Modelización y Computación Científica (MOX) del Politécnico de Milán. Quarteroni se ha especializado en la simulación numérica del sistema cardiovascular, desarrollo

que facilita estudiar, entre otros, el comportamiento *in vitro* de las venas, el corazón y las arterias. El Prof. Quarteroni visitó Bilbao el pasado 21 de febrero para dar una conferencia, en el marco de *Matemozioa*, iniciativa impulsada por el Basque Center for Applied Mathematics (BCAM), la Cátedra de Cultura Científica de la UPV/EHU, y la Alianza IK4, y que permitió este interesante encuentro con el director de BCAM, Enrique Zuazua.

¿El matemático nace o se hace a lo largo del proceso de aprendizaje?

Estoy seguro de que hay matemáticos que nacen como tales, pero hay muchos otros a los que conozco personalmente que han sido conscientes de la necesidad de convertirse en matemáticos bastante tarde. Creo que hay sitio para todos. Tienes que tener algo, algo así como una semilla que tarde o temprano, crecerá; pero no necesariamente al principio.

¿Qué es lo que le diferencia a un matemático de otros científicos?

Creo que la necesidad de abstracción es lo que conforma un matemático. Puedes enfrentarte a un problema desde el mismo prisma que un ingeniero, que un físico o que un biólogo, pero el primer instinto de un matemático, supongo, es intentar extraer la parte abstracta de toda la historia e intentar crear un modelo. Un modelo puede hacerse a partir de ecuaciones o mediante un modo de pensar, mirando al espacio, →



.....
Alfio Quarteroni (1952, Ripalta Cremasca, Cremona, Italia) uno de los científicos más reconocidos e influyentes en el ámbito de la matemática aplicada e industrial. Director de la Cátedra de Modelización y Computación Científica en el Instituto Federal de Tecnología de Suiza (EPFL) y director científico en el Laboratorio de Modelización y Computación Científica (MOX) del Politécnico de Milán.

Enrique Zuazua es director científico del Basque Center for Applied Mathematics (BCAM).



a representaciones... Pero existe un tipo de impulso que normalmente se encuentra en un matemático.

¿Qué es más importante, hacer la pregunta correcta o encontrar la respuesta?

La mayor parte del tiempo que dedicamos a la matemática aplicada se emplea en obtener de nuestros homólogos la pregunta correcta, y creo que se debería conseguir la pregunta correcta porque es entonces cuando conocemos el nivel de simplificación admisible y qué tipo de respuesta se puede ofrecer a la pregunta adecuada. Si la pregunta no es correcta, cualquier respuesta puede ser errónea.

A menudo uno se encuentra en la calle con preguntas como: ¿a qué te dedicas? ¿No están las matemáticas ya inventadas? ¿Hay más matemática por desarrollar o estamos cerca del final? Creo que todo el mundo que pertenece a nuestro ámbito habla de este problema. En vez de intentar dar soluciones que provienen de nuestro entorno, en general, prefiero empezar desde un problema, desde algo que la gente puede experimentar todos los días e intentar darle una respuesta matemática. Para mí es una manera de ser más efectivo. Partes de un problema en el que sabes que nadie ha pensado nunca en que las matemáticas puedan estar detrás, y puedes extraer la parte matemática de ese problema y demostrar que esas matemáticas son muy útiles para resolver el problema.

Es difícil situar el inicio de las matemáticas aplicadas. Pero podemos identificar su surgimiento

“Los factores clave son la calidad, el compromiso y el entusiasmo de las personas”

to a mitad del siglo xx de la mano de John von Neumann y muchos otros, después de combinar las matemáticas y la informática para resolver retos que antes eran irresolubles. ¿Cómo ve la evolución de las matemáticas aplicadas? ¿Cómo compara el contexto actual y el de las personas que vivían a principios de los cuarenta? ¿Cree que se usa la misma metodología? ¿El mismo enfoque? ¿Es cuestión de, digamos, ordenadores más grandes y nuevas herramientas matemáticas o algo sustancial ha cambiado el espíritu y el objetivo de las matemáticas aplicadas?

Bueno, es un asunto muy complicado. Empezaré dando una respuesta deductiva. En primer lugar, la definición de lo que es matemática aplicada y de su límite con las matemáticas puras es, de por sí, un asunto muy difícil. Creo que la importante paradoja que subyace aquí es la diferencia entre, por un lado, las matemáticas aplicadas y las matemáticas puras; y por otro, la diferencia entre un matemático aplicado y un matemático puro. Y creo que es más fácil tratar esa segunda diferencia que también condiciona la primera. Un matemático aplicado es aquel que trabaja con datos reales. Es decir, basa su actividad en datos reales porque estos se producen en la propia realidad. Si se quiere resolver un problema en un contexto médico, los pacientes son los que proporcionan esos datos reales; en biología, los experimentos; en ciencias medioambientales, las observacio-

nes de los fenómenos atmosféricos o los fenómenos medioambientales. Así que, una vez que se dispone de datos reales, son entidades fundamentales que alimentan tu modelo, que debería ser lo más coincidente posible con los datos reales. Se debe extraer la información relevante de los propios datos reales, alimentar el modelo con dicha información y, de alguna manera, adaptar el modelo para ofrecer la respuesta esperada al origen del problema. Ahora bien, la diferencia existente entre hoy en día y hace treinta o cincuenta años es la disponibilidad de datos reales. Y hoy en día tenemos un exceso de ellos y lo primero que hay que saber es identificar los datos reales relevantes a tener en cuenta. Si se tienen muchos datos, además de extraer aquellos que son relevantes, hay que decidir qué arquitectura de modelo es la apropiada para incorporar esos datos y manejarlos de una manera fiel. Hoy en día, necesitamos modelos más sofisticados que aquellos que había hace veinte o cincuenta años, porque queremos tener una descripción más coherente de la realidad; y el hecho de que se tengan más datos relevantes y más precisos, te obliga a desarrollar mejores modelos.

Pero también matemáticas más complejas. Pero más complejas debido al hecho de que tienes ordenadores más potentes. Existen ejemplos canónicos, la dinámica de fluidos. Los fluidos pueden desarrollar estructuras muy complejas, inestabilidades, comportamientos turbulentos y transición a turbulencias. Hace treinta años, era virtualmente imposible tener modelos capaces de describir comportamientos turbulentos más allá de una situación muy simplificada: calcular turbulencias en una caja. Hoy, eso es más factible. No estoy diciendo que sea posible, porque existen excepciones. Pero es más posible que antes. Así que, esto implica el desarrollo de métodos más precisos y complejos porque existen ordenadores más potentes que permiten manejar muchos más grados de libertad; pero si son más complejos, las soluciones matemáticas también lo son, así como la estructura matemática; y así es como se desarrollan modelos más sofisticados. Todo está relacionado.

Siguiendo este argumento, la sociedad occidental está atravesando una crisis económica y política. ¿Qué cree que pueden aportar las matemáticas? ¿Cree que pueden arrojar luz a este panorama tan complejo?

Es una cuestión complicada. Por un lado, creo que la crisis es algo cíclico. De alguna manera demuestra el hecho de que los analistas no han sido capaces de mirar al futuro. Y ello se debe a que han aparecido nuevas herramientas financieras complejas. Esto se debe a que la gente se comporta de una forma muy difícil de predecir. Pero también es debido a la comprensión fundamental de la situación y a que su interacción con la economía, la tecnología y las expectativas sociales son difíciles de modelizar, de racionalizar. Por un lado, se deduce que lo que realmente se necesita son herramientas más racionales para una mejor comprensión de lo que sucede en nuestra sociedad; y las matemáticas pueden jugar un papel fundamental. Por otro lado, se sabe que a los matemáticos nos llueven críticas por parte de personas que piensan que las matemáticas son, de alguna manera, ingeniería financiera, y son, en consecuencia, una parte del origen del problema. Así que esto nos debe obligar a explicar mejor qué es lo que podemos hacer y qué es lo que no queremos hacer. Entonces, ¿cuál es nuestro perímetro de acción? Las matemáticas no son la panacea de todos los problemas. Pueden ayudar a entender mejor las cosas, pero las matemáticas son fieles a la hora de abordar el mensaje de un problema complejo. Sabemos hasta cuándo podemos, qué tipo de logro podemos alcanzar y cuál es el terreno que no podemos traspasar. Otro ejemplo es la representación determinística y estocástica de la realidad, es decir, existen algunos fenómenos en la vida cotidiana de nuestra sociedad con los que se pueden entender las más precisas y aceptadas reglas matemáticas, las ecuaciones para expresar las leyes físicas fundamentales. Existen casos en los que sabes que esta esfera determinística no se puede usar para proporcionar todas las explicaciones posibles. Creo que nosotros, los matemáticos, somos muy conscientes de ello. Quizá nuestro error sea no transmitir este mensaje de manera clara al resto de la sociedad. Estamos, de alguna manera, creando involuntariamente expectativas que después no podrán ser cumplidas.

Su trabajo se ha basado principalmente en aplicaciones. ¿Cuál es su proyecto preferido? Echando la vista atrás en su carrera académica, y teniendo en cuenta los proyectos más destacados o desafiantes en los que ha encontrado mayor satisfacción personal, ¿ha sido capaz de hacer mejores matemáticas? ¿Está satisfecho en general?

¿Sabe? Nunca se está contento porque, por un momento, puedes estarlo pero después de un mes, echas la vista atrás, lees el artículo y piensas «¡Qué horror!». Por otro lado, cuando empecé no trabajaba en matemáticas aplicadas sino en análisis teórico numérico; más adelan-



te, paulatinamente viré hacia las aplicaciones y creo que pasé por un gran abanico de aplicaciones diferentes en ingeniería, medio ambiente, geofísica, deportes e incluso medicina. Así que, la mayoría del tiempo lo dedicaba a las matemáticas que describían sistemas biológicos o médicos; y es mucho más difícil porque existe mucha incertidumbre, es mucho más difícil porque cuando hablas sobre elementos vivos es difícil predecir el mismo tipo de comportamiento. Por otro lado, es muy emocionante porque realmente ves que hay mucho espacio para ayudar a tus homólogos, los médicos, a que entiendan mucho mejor lo que hacen diariamente. De nuevo, es un buen ejercicio porque tienes que ser lo suficientemente humilde para entender cuál es tu papel; y por otro lado, tienes que ser lo suficientemente ambicioso para

darte cuenta de que puedes aportar nuevos conocimientos. Es una especie de límite subyacente entre ser humilde, estar en un segundo plano e intentar seguir adelante para intentar convencer a esas personas de que las matemáticas pueden ayudar, y esto es muy estimulante.

“Si la pregunta no es correcta, cualquier respuesta puede ser errónea”

En esta área de posibles interacciones entre las matemáticas, la medicina y las ciencias biológicas en general, ¿qué comparación haría entre el contexto europeo y el norteamericano?

Bueno, creo que si tengo que juzgarlos en términos de estructuras organizativas, existe una organización como la NIH en Estados Unidos que se encuentra tras la financiación de este tipo de investigación desde hace décadas, es decir, no hay nada semejante a escala en Europa. Por otro lado, si tengo que evaluarlos en términos de calidad investigadora realizada por individuos o por pequeños grupos en Europa, no aprecio gran diferencia. Puede que la excelencia esté menos organizada aquí, pero la excelencia está en muchas áreas y en muchos temas. Creo que somos competentes. Tenemos estudiantes de gran calidad en general, es decir, a pesar de toda esta crisis que atravesamos, todavía se preparan muy buenos estudiantes; y también diría que más motivados, que continúan en la investigación pura y quizá mucho más motivados que los alumnos norteamericanos que se sienten atraídos por otras carreras; así que, diría que es una gran ventaja. No puedo quejarme de la diferencia en este sentido.

Aquí, en el País Vasco, se nos ha dado la oportunidad de gestionar el centro BCAM donde se nos ha elegido para estar más cerca de las ciencias aplicadas porque hay un tejido industrial local muy fuerte. ¿Cuál es la clave o qué consejos nos da tanto a los industriales como a los matemáticos para que la colaboración sea más eficiente, más ágil, más enriquecedora, más satisfactoria? Experimenté un reto similar hace diez años en Milán, que es el centro de una próspera zona industrial de Italia. Empezamos con un laboratorio que trabajaba con múltiples modelos científicos de cálculo, y la idea era intentar obtener una parte sustancial de la financiación de empresas externas. Y, por supuesto, es un tra-



“Se tienen que abordar problemas que las industrias por sí solas no puedan afrontar”

bajo arduo, especialmente al principio, porque teníamos que convencer a nuestros socios de que no sólo podían confiar en los académicos, cosa bastante difícil por cierto, pero que también podían confiar en los matemáticos. Ese era el reto. Y de hecho, empezamos trabajando gratis para ellos. Les pedí explícitamente que nos diesen un problema y que nos pusieran a prueba. No les pedía nada, ninguna ayuda, simplemente tres, cinco, seis meses, y después que juzgasen lo que éramos capaces de hacer; en caso de que el resultado fuese satisfactorio, ya hablaríamos. *A posteriori* esto ha dado muy buenos resultados. Se tienen que abordar problemas que las industrias y de actuar como matemáticos. Lo que proponemos es simplificar el problema y después intentar proporcionar, no necesariamente, un producto final listo para su uso, sino un nuevo enfoque o una nueva prueba de concepto que les convenza de que existe una regla para una mejor comprensión, una regla para colaborar con los matemáticos. Hoy en día, tenemos unos treinta o cuarenta socios que están más o menos fidelizados, se mantienen fieles, confían en nosotros y alimentan nuestra investigación. Pero esto no es el final de la historia porque hay otro aspecto, es decir, a veces, para abordar estos problemas, no dispones de tiempo para probar las teorías. Ya sabe que en nuestro ámbito, para avanzar en nuestras carre-

ras, debemos publicar artículos de gran calidad y, a su vez, ser expertos en matemáticas. Así que, hemos creado una *start-up*, una *spin-off* de la MOX original con el objetivo de interactuar con la industria. Y estas personas han atravesado las mismas situaciones que las otras pero están ahí para ayudar a la industria a conseguir un producto final. Y este aspecto es extremadamente útil también para nosotros porque esas personas están en primera línea de fuego, pueden observar nuevos problemas, los transfieren a un departamento interno de MOX y después, pueden colaborar desde un punto de vista matemático sin emplear mucho tiempo abordando la dificultad real. Así que, creo que hay hueco para ello, hay nuevas experiencias que resolver. No hay muchos ejemplos o paradigmas que puedas seguir, pero puedes seguir su camino y ver que lo están haciendo muy bien, y creo que una vez que tienes personas con talento y, de alguna manera, has establecido la filosofía de que parte de tu misión es abordar problemas reales, debería fluir de manera natural.

Veo que todavía es entusiasta sobre el futuro de las matemáticas, de las matemáticas aplicadas, y también de las oportunidades que Europa está creando en este área. ¿Alguna recomendación para aquellos colegas jóvenes que puede que estén pensando en cursar sus estudios en matemáticas o por el contrario estudiar, digamos, una ingeniería que probablemente esté mejor valorada al menos a corto plazo? ¿Qué le diría a un colega joven que tiene talento para las matemáticas y está todavía en el instituto?

Puedo darle un ejemplo concreto de lo que ocurre en Milán porque en la Universidad Politécnica de Milán, que es una de las universidades técnicas más importantes de Italia y de la cual han salido una tercera parte de todos los ingenieros de Italia. También es uno de los lugares que atrae a alumnos con talento de cualquier parte del país. Es cierto que hay muchos matemáticos que deciden cursar un grado de ingeniería porque es más ampliable y socialmente hablando, es más provechoso. Cuando fui a la Politécnica, empecé impartiendo un curso avanzado de matemáticas aplicadas. Eran muy avanzadas. No era obligatorio para nadie, eran voluntarias, y ahí era donde tuve estudiantes que venían de muchos sitios y de todas las ramas posibles. Fueron mis primeros alumnos en Milán, los primeros en hacer un doctorado en matemáticas aplicadas y, años después, decidimos crear una rama especial. Lo llamamos

Ingeniería Matemática. Ingeniería Matemática es especial porque queremos seleccionar los estudiantes con más talento de la Politécnica; aquellos con un interés potencial para las matemáticas. La receta es muy sencilla: queremos mandarle un mensaje a sus padres, porque ellos están detrás de las decisiones de los alumnos, son responsables de ellas. El mensaje es que una tercera parte del programa es Matemáticas Puras; otro tercio, Aplicadas; y otro, aspectos de Ingeniería Básica. Hay proyectos transversales para que los estudiantes, al final, sean capaces de abordar problemas como cualquier otro ingeniero en distintos campos, pero con el conocimiento matemático. Así que, ese era el mensaje. Empezamos con un plan de negocio de unas cuarenta personas. Hubiéramos estado satisfechos con esos cuarenta, pero la primera vez llegamos a tener setenta, así que fue todo un éxito. Después de diez años hemos tenido que poner un tope de 150. Y después de diez años, los mejores estudiantes de la antigua Politécnica están estudiando aquí. Tenemos catalogados a los estudiantes por disciplinas y los ingenieros matemáticos siguen siendo los mejores. Hoy en día, esas personas tienen éxito en la industria y muchas veces no puedes retenerlos para que hagan un doctorado porque hay una gran demanda. Creo que, de alguna manera, tenemos que intentar derribar fronteras: las matemáticas, la física y la ingeniería. Creo que, hoy en día, las matemáticas requieren una noción básica de física, biología o ingeniería.

El tema es muy complejo porque cuando estás, por ejemplo, promocionando un nuevo programa de doctorado y tienes que aceptar este principio de tener que romper fronteras, la cuestión que se plantea es: ¿Qué fronteras debemos traspasar? En otras palabras: ¿los programas de doctorado deberían ser una mezcla entre matemáticas, informática e ingeniería? ¿Una combinación de matemáticas, física e informática? ¿Deberíamos incluir biología? ¿Qué opinión le merece al respecto?

No, no creo que esa sea la receta. Un doctorado en matemáticas aplicadas debería basarse en cursos de matemáticas. Personalmente no dudo de que nuestra misión es crear matemáticos aplicados y no ingenieros. Esas personas tienen algo en común con los ingenieros, tienen la posibilidad de abordar el mismo tipo de problemas. Sin embargo, el enfoque debería ser distinto y el tipo de respuesta que va a proporcionar también es distinta. Deben de tener un alma matemática. Nuestros cursos de matemá-

ticas para doctorado son de matemática aplicada. Esas personas estudian Análisis Funcional, Aproximación Numérica Avanzada, Geometría Diferencial, Optimización Combinatoria... Todas esas cosas que en principio pueden ser principales en otros ámbitos, los matemáticos las enseñan de un modo distinto, es decir, esos estudiantes podrían llegar a ser matemáticos, matemáticos aplicados. En mi opinión aquellas personas que aún no se han graduado deberían estar más expuestas a otras materias porque cuando tienes veinte años eres muy reactivo. Si te piden trabajar en un proyecto con un biólogo, un físico o un ingeniero, tienes más oportunidades para absorber la esencia de la multidisciplinariedad del problema cuando tienes 20 ó 22 que cuando tienes 40. Creo que es importante que nuestros estudiantes estén expuestos y abiertos a aplicaciones desde el principio. Entonces nuestra misión es crear matemáticos. No sé por qué esto crea confusión.

Otra de las dificultades que veo en el campo de las matemáticas aplicadas a la informática, es que distintos grupos desarrollan distintos métodos, distintas herramientas informáticas y, muchas veces, no es fácil decir: esta es mejor que esta otra. ¿Cree que existe la necesidad de identificar problemas de referencia en los que las matemáticas aplicadas puedan ser comprobadas de una manera rigurosa y después evaluadas para que se formule claramente la clasificación de las distintas soluciones?

Sí. Le daré dos respuestas diferentes para esta pregunta. La primera es desde la parte más alta de la pirámide, la parte industrial; y la otra desde la base, nuestros colegas matemáticos. Hay una necesidad real en la parte más alta. Cuando quieres convencer a tu socio industrial de que tienes un método que es mejor, necesariamente tienes que convencerle de esas referencias; puede reaccionar porque las conoce y puede proporcionar algunos resultados y respuestas claras e inequívocas. Esa es la necesidad que hay. Cuando se desarrolla una nueva herramienta, un nuevo enfoque, necesitas, por lo menos, demostrar que tu método es más preciso o más rápido, o requiere menos memoria o es más general. No puedes ser muy restrictivo con tus colegas y decirles: bien, «a la hora de desarrollar tus ideas, asegúrate de que estás comparando ideas de éxito con referencias existentes». Tienes que dejar a la gente la libertad de desarrollar de forma espontánea, pero después, aquellos que tienen la responsabilidad



“Creo que, hoy en día, las matemáticas requieren una noción básica de física, biología o ingeniería”

de transferir esta información, de transferir el conocimiento a la industria, tienen la responsabilidad de asegurarse de que saben cómo comparar distintas herramientas y métodos, y cómo vender este tipo de matemáticas al exterior. Es necesario abordar y transmitir mensajes e información inequívoca.

Para concluir, ahora que conoce el País Vasco, Bilbao y BCAM ¿tiene algo que añadir? ¿Alguna recomendación para el futuro de la ciencia vasca que está haciendo grandes esfuerzos para desarrollar un programa con el objetivo de que el País Vasco sea reconocido no solo por su tradición gastronómica, el Guggenheim o nuestra antigua industria, sino también por nuestra excelencia científica?

Déjeme hacer un comentario que va más allá y después volvemos a la cuestión. Creo que para lo que sucede en nuestro continente con lo que sucede en Estados Unidos, y como ya sabe, el poder de organización de Estados Unidos es increíble. Sabe que cuando ellos tienen que desarrollar una idea, atacan el problema y eso es algo inusual en Europa. Es por eso que ve sitios excelentes incluso en países donde en principio no espera que la excelencia se aplique en cada estándar. Y estoy muy seguro del hecho de que la excelencia la crea el individuo. Antes que nada, tenemos una larga historia y tradición en nuestros países de crear cosas

nuevas porque somos entusiastas, llevamos a cabo las ideas y estamos convencidos de que podemos obtener algo nuevo incluso en entornos que, en principio, no son un candidato típico para este tipo de desarrollos. Así que, ¿es tu desarrollo clave o es algo absolutamente excepcional? Es muy específico, muy peculiar y creo que la capacidad de atraer personas con talento y plantar aquí la semilla es extremadamente importante. Lo he visto en otros sitios. Hace 13 ó 15 años había un problema en Europa que impedía ayudar a países o áreas subdesarrolladas a crecer en términos de transferencia tecnológica. Hemos visto muchos ejemplos, algunos de éxito y otros no. En mi lectura, la clave del éxito ha sido la capacidad de los autóctonos, aquellos que tienen responsabilidad, de ser creíbles y de serlo también a la hora de atraer a gente con talento y convencerles de que mereció la pena. Al observar lo que se ha conseguido en BCAM, lo que habéis hecho aquí, es muy impresionante. Creo que eso es lo que marca la diferencia. Es hora de empezar a interactuar con el entorno, aunque sepamos que no es fácil. Es una condición *sine qua non* que la calidad de las personas que estén ahí sea óptima. Es más, deberían compartir ese objetivo y entender que es bueno para el entorno porque se demuestra que puedes hacer algo nuevo. Y si lo puedes hacer, no para el MIT o Caltech, pero para aquí u otros sitios, que no tengan...

Que no tengan tradición.

Supone todo un reto. Y para uno es mucho más satisfactorio. Así que el factor clave es la calidad, el compromiso y el entusiasmo de las personas. ■