



Mesa de ideas

La ciencia a medida

Mesa de ideas con **Eudald Carbonell**, **Aurkene Alzua** y **Enrique Zuazua**. Modera: **Iñaki Letona**.

La medición está asociada a la determinación o valoración. Ésta, normalmente, debe expresarse por un *número* con arreglo a convenciones o a *normas* admitidas, y por tanto, las mediciones configuran valores en unos casos y expresiones numéricas determinadas en otros, sujetas a la acción de medir. De hecho, lo que medimos, lo que se mide, está referido, en su mayor parte, a *magnitudes*. Precisan cálculos, principalmente matemáticos, que a veces, se efectúan a través de instrumentos de índole variable y con resul-

tados o datos variables de mayor o menor *rigor*, que se asocian a *variables* ligadas a la propia medición o datación. Se emplean, las empleamos, en trabajos que posibilitan, en la mayoría de los casos, resultados científicos, que a su vez, terminan en aplicaciones técnicas concretas de muy alto valor.

La medición no está asociada únicamente a lo científico-tecnológico, lo está también al ámbito de las ciencias sociales y a otras disciplinas menos conocidas, en el campo y dominio científico. Un ejemplo a su vez, lo podríamos encontrar en la paleontología o en la antropología. Por ello, y con el fin pretendido, hemos reunido alrededor de esta mesa a una científica en turismo y nuevas tecnologías (Aurkene Alzua, directora general de CIC tourGUNE), a un matemático (Enrique Zuazua, director de BCAM) y a un paleontólogo (Eudald Carbonell, co-director de Atapuerca); las mediciones son el *leit motiv* de sus trabajos.

Iñaki Letona: Hablemos de la necesidad de medir, ¿por y para qué?

Enrique Zuazua: El momento que vivimos socialmente se caracteriza por la abundancia de datos. Si dentro de mil años se observa la evolución del planeta y de la especie humana, y lo que ha supuesto el siglo XX y la primera parte del XXI en su desarrollo, se llegará a la conclusión de que este período se ha caracterizado por la explosión del número y complejidad de datos que el ser humano genera y maneja. Interpretar y manejar todos esos datos supone un gran nuevo reto y oportunidad para el ser humano.

Aurkene Alzua: Por su puesto, pero yo le añadiría que nos faltan aún datos para muchos de los retos científicos que nos proponemos. Hay una eclosión de datos, y ahí están la informática y las tecnologías que nos permiten seguir generando nueva información, formas novedosas de medición, que a su vez nos permiten generar

nuevas preguntas para las que necesitaríamos nuevos tipos de datos que no son tan evidentes. Ese es nuestro reto. Por qué y para qué medir, comentabas. Yo añadiría: ¿podemos avanzar en el conocimiento sin medir? Creo que no. Y matizaría una cuestión. Cada procedimiento que usamos para medir está imbricado con nuestra visión del mundo, encorsetados en unos paradigmas conceptuales, y nos cuesta muchísimo salir de ellos y generar nuevas técnicas de medición para alcanzar una nueva comprensión de la realidad. Es nuestro caso, el de las ciencias sociales, queda pendiente la superación de las técnicas tradicionales y la incorporación de los nuevos diseños y el desarrollo tecnológico como instrumentos para abordar cuestiones científicas; si no superamos los métodos tradicionales, como sí se ha hecho en paleontología, no generaremos nuevo conocimiento. En el turismo como disciplina científica que aborda la movilidad humana nos está costando.

Eudald Carbonell: En mi caso yo puedo hablar de la importancia de las mediciones redundantes, de la interacción de las distintas disciplinas para datar y medir lo hallado. Nosotros existimos como disciplina científica gracias al parámetro tiempo. Podemos establecer analogías entre lo que ocurre y lo que ocurrió, pero se debe medir, se trata del desarrollo de la especie y de nuestra conciencia, como humanos. El tiempo está ligado a los sentidos. Cuando se monitoriza algo se hace con los ojos o creando la óptica que los sustituye, el sonido, lo mismo con los aparatos que lo registran. Lo que hacemos al monitorizar es generar la conciencia que registran nuestros sentidos. La arqueología,

a gran escala, es medir el tiempo, como también el espacio donde se encuentra el registro arqueológico. Nosotros no exhumamos ningún fósil que no haya sido medido y registrado en las tres dimensiones. Si no midiéramos, no existiríamos como agentes de conocimiento.

Iñaki Letona: He sido testigo de vuestros registros, al levantar «ese» trocito de hueso o de vestigio importante. Reconstruís el lugar (coordenadas) y lo datáis informáticamente. Continuando con las preguntas, muchas de las variables que vemos y leemos, ¿hasta qué punto son interpretables por la comunidad no científica?

Enrique Zuazua: Hay diferentes maneras de interpretar los datos. Un piloto de Fórmula 1, utiliza la turbulencia, la inestabilidad, la no linealidad... para ganar ventaja. Los pilotos han entendido estos complejos fenómenos dinámicos y se han convertido en maestros de los mismos, a través de la experimentación. El otro día me encontré con un grupo de surfistas que desea impulsar una empresa para el desarrollo de generadores de olas. Me llamó muchísimo la atención hasta qué punto entendían la mecánica de fluidos sin haber estudiado a fondo sus ecuaciones. Viven la ola, la han vivido durante muchos años y han entendido su naturaleza. En efecto, si te pasas ocho horas al día en el agua de los 14 a los 34 años, entiendes la mecánica de los fluidos de otra manera. Son muchos los ejemplos. Los pastores nos hablan del tiempo, por ejemplo.

Pero es cierto que la mayoría observamos los datos, pasamos a su lado, sin entenderlos. En efecto, con frecuencia, la plasticidad del cerebro que permite absorber los datos como las esponjas, ha de ser normalmente cultivada a través de los

libros y un lento camino de formación y praxis. Todos los datos son intrínsecamente interpretables. Otra cosa es que podamos interpretarlos hoy. En el ámbito de las ciencias sociales se observa que cosas hasta hace poco incomprensibles, hoy forman parte de teorías bien sustentadas. El reto de entender es lo que hace que vivamos en el planeta. Si renunciáramos a hacerlo, la mayoría nos bajaríamos en marcha.

Aurkene Alzua: Es una pregunta difícil esa de si los datos son interpretables por la comunidad no científica. Existen dos puertas para acceder a ese conocimiento. Una es la de la especialización y muchas veces en los medios de comunicación encontramos datos de una especificidad muy concreta que queda lejos de nuestras capacidades, requerimos de la ayuda del comunicador para entender o interpretarlos. Necesitamos esa ayuda. Pero independientemente de eso, es cierto que vivimos en un mundo de datos y todos estamos cada vez más acostumbrados a manejarlos e interpretarlos, a extraer significado del mismo. Yo creo, en el caso de la movilidad humana en turismo –personas que se mueven fuera de su entorno cotidiano–, hemos seguido un sistema restrictivo de medición y me pregunto si los datos generan conocimiento suficiente y en qué proporción representan la realidad. ¿Qué porcentaje o prisma de la realidad creemos entender o cuál es la distorsión derivada de las muestras observadas? Esa es la pregunta. Se ha trabajado poco la observación objetiva de manera empírica, hacer seguimiento del rastro del comportamiento humano, generar datos a través de sistemas de localización avanzados, observar esa conducta en un espacio temporal



y poder inferir significado de ellos. Eso es más difícil. Ninguno de los datos de los que hemos hablado hasta ahora hacía referencia al mundo afectivo, por ejemplo. Se puede medir. ¿O no? ¿Cómo inferimos ese mundo afectivo sin ser intrusivos? Nosotros tenemos un gran reto: cómo medir la conducta humana de movilidad en el eje espacio temporal y además inferir algún tipo de emoción o de ciclo afectivo en esa itinerancia sin ser intrusivos, sin que esa persona deje de comportarse como iba a hacerlo. ¿Cómo penetrar en ese mundo?

Enrique Zuazua: Quizá lo podrías plantear al revés. ¿Del conjunto de personas que se mueven fuera de su entorno original, cuántas no lo hacen por una cuestión afectiva?

Aurkene Alzua: Pero esa es otra pregunta. No es lo mismo vivir fuera de tu hábitat natural que salir de tu entorno cotidiano.

Eudald Carbonell: Aunque de lo general a lo particular. Los conocimientos de las afrentas recogiendo técnicas de otras disciplinas que te interesan y que te son útiles. Pero pienso que si no generas un cuerpo teórico que dé consistencia a las bases analíticas, difícilmente puedes establecer un trabajo sistémico sobre lo que haces. Si me planteara este problema formalmente, primero me preguntaría qué pasa con la dinámica de flujos; también a nivel de constantes demográficas; y cómo se integra la diversidad, porque cuando te mueves estás integrando. Yo intentaría partir de lo general y después establecer lo particular y en la redundancia asegurar el proceso. Quizás no sería un método científico del todo, pero sí uno riguroso. Si partes al revés, de lo que no conoces ni sabes lo que quieres hacer, es muy difícil dar respuestas y la Ciencia en su base tiene una tautología; lo importante no es la respuesta, sino la pregunta.

Enrique Zuazua: Estás describiendo la mecánica de trabajo de la dinámica de fluidos, de la meteorología, la dinámica de gases y partículas que chocan, rebotan, se agrupan o disgregan. **Aurkene Alzua:** Es que yo creo que ese es nuestro trabajo. Se habla cada vez de una sociedad más líquida, de la sociología más allá.

Enrique Zuazua: Ahí están los modelos de los fluidos, que cada vez trabajamos más. Internet y el flujo de información que se da en la red es un buen ejemplo. Es tan complejo el grafo que constituye la red, el ir y venir de mensajes, los que rebotan y los que pasan, que es imposible analizarlo todo. Por eso se desarrollan teorías sobre los límites fluidos, que indican las leyes macroscópicas que gobiernan el flujo de infor-

mación en la red. Luego está el detalle, en el que vivimos la mayoría, con nuestro navegador y nuestros emails, pero que en el fondo no es tan relevante de describir.

Aurkene Alzua: Según si te metes en lo micro o si quieres abordar las estructuras subyacentes. Pero esa es la tendencia.

Iñaki Letona: Estáis hablando de datos, mediciones, redes, y de socializar ese conocimiento en última instancia. ¿Eso no tiene que ver mucho con la divulgación, vamos, con dar a conocer?



“El reto de entender es lo que hace que vivamos en el planeta. Si renunciáramos a hacerlo, la mayoría nos bajaríamos en marcha”

Enrique Zuazua

Eudald Carbonell: Esto es intrínseco del ser humano racional. Cuando abrimos la boca ya estamos midiendo. Desde que te levantas por la mañana somos numéricos, mides la hora, sobre todo en esta sociedad; si me tomo café, pido uno. Cuántos kilómetros me quedan, a qué hora llamaré o me llamarán. No hay nada que no midamos. No conozco en el cuerpo nada que no sea medido. Cuando tienes un bolígrafo en

la mesa y quieres cogerlo, tienes que medir la distancia que hay entre tu mano y él para hacerlo. Somos ingenios diseñados para entender. Nuestro esqueleto está medido, hay una memoria en nuestro sistema que hace que por ensayo y error tengamos todas esas mediciones ya hechas. La ciencia natural, que se ha utilizado toda la vida, se ha utilizado para la agricultura, para el tiempo, para los ciclos de los animales. Los mamíferos, que no los primates, medimos todo. Ahora, somos conscientes de las medidas para las que tenemos métodos científicos.

Aurkene Alzua: ¿No es muy importante. La expresión de la medición nos ayuda a ser conscientes de ese gran mundo desconocido del que somos parte. La matemática, por ejemplo, nos ayuda a dar expresión y ser conscientes de ese entorno. Sin ella, no podríamos generar conocimiento.

Iñaki Letona: ¿No se utiliza a la opinión pública con los datos que nosotros tenemos y usamos? ¿No os da la sensación de que la manipulamos?

Enrique Zuazua: El otro día abrí el periódico y decía: «Obama ha llamado esta noche a Zapatero». No entendí por qué. Pero al cabo de cinco horas lo comprendí. «Recorte del 5%». Era una preparación. Es otra de las características de esta sociedad, esa capacidad de los media de incidir en la opinión pública.

Iñaki Letona: Evidentemente esto tiene que ver con nuestra permeabilidad hacia los datos que nos dan.

Aurkene Alzua: En ciencias sociales en general, académicos, técnicos, todos recogemos datos parametrizados en un contexto teórico. Será una intención política utilizarlos para otros fines. No creo que nosotros lo hagamos.

Enrique Zuazua: Pero ahí entra un aspecto matemático que es el de las correlaciones, no siempre del todo obvias. Vivimos en un mundo en el que hay variables que son independientes unas de otras, como lo era el dinero que teníamos en la lucha de niños. Eso era un hecho seguro. Si en tu lucha tienes cien, ahí estaban. Entonces no éramos conscientes de que el dinero fluye y que lo que pasa en Hungría afecta a España, y a Euskadi, y al final te afecta a ti. Como cuando cierra una compañía aérea dejando a la gente con las maletas en el aeropuerto.

El tema de las correlaciones es cada vez más complejo. El grafo del planeta es muy conexo; todos podemos contar cuántos pasos nos separan de alguien en concreto. Si le has dado la mano al Lehendakari, que seguro que se la ha dado al Rey, por ejemplo, solo un paso más te separa de Obama. Vivimos en una sociedad tan interconectada,

que correlaciones muy poco visibles están afectando a la viabilidad de los negocios. La innovación se está basando no ya en nuevos productos o escenarios, sino en explotar esas correlaciones que otros no habían visto.

Eudald Carbonell: Esto es interesante y complicado. Lo complicado hay que gestionarlo, lo complejo no podemos. Gracias al conocimiento somos capaces de vivir en lo complejo gestionando lo complicado, eso es posible, lo contrario no, como ya he dicho. Vamos a colapsar en este siglo, nuestra especie pasa por una crisis sistémica; se manifiesta primero en el sector financiero; luego en una crisis social, ideológica y psicológica... Es la primera vez en la historia de la evolución humana, que separamos, que colapsaremos monitorizados. Esto se hundirá y lo estaremos viendo en nuestras pantallas. Estamos al horizonte de los acontecimientos de un agujero negro que pone en peligro nuestra propia evolución y algunas especies humanas somos conscientes porque tenemos información. Con sondas en los mares que controlan la humedad y la conectividad de las aguas; en los continentes, con estaciones que controlan día a día cada variable; con estructuras económicas que nos dicen que nuestro sistema capitalista está acabándose, que se está autodestruyendo porque no es capaz de generar estructuras suficientes para conservar su potencia. Y precisamente la ventaja de los números es que colapsaremos monitorizados y es una gran ventaja porque sabremos lo que está ocurriendo. La conciencia de especie nacerá como consecuencia de esta parametrización y monitorización de la realidad, y eso para mí es el gran cambio que estamos viviendo. Todo es medible, no se puede vivir sin medir, y ahora vamos a comprobarlo. La capacidad de medir nos dará la conciencia de especie. Pero esto no evitará que colapsemos.

Enrique Zuazua: ¿Esa conciencia no existe ya? En Grecia existía el sabio nómada Protágoras de Abdera, al que le preguntaban de todo cuando iba de pueblo en pueblo; y solía decir que a la hora de medir el mundo el modelo era el propio hombre y por eso, por ejemplo, contamos de cinco en cinco (por los cinco dedos de la mano).

Eudald Carbonell: Si hubiera conciencia de especie no colapsaríamos en este siglo. La conciencia de especie, en mi opinión, es cómo colectivamente pensamos como especie, no como hombres o como humanos. En el caso del ser humano la conciencia de especie es una serie de adquisiciones biológicas y culturales que permiten establecer relaciones entre no-

sotros. Es cuando no piensas en clases sociales ni personas, sino en cómo formas parte de un organismo que no existe en todo el planeta. La conciencia de especie empieza a emerger con la crisis de los misiles, en los años 60 es la primera vez que somos conscientes de que podemos destruir el planeta. Esa conciencia empieza a nacer ahí, pero pienso que no será total hasta que seamos capaces de crear un espécimen humano, cuando nos deshumanicemos. Aparecerá por lo tanto cuando seamos



“Tenemos un gran reto: cómo medir la conducta humana de movilidad en el eje espacio temporal y además inferir algún tipo de emoción o de ciclo afectivo en esa itinerancia sin ser intrusivos”

Aurkene Alzua

capaces de construir, no después de destruir. Lo que estamos haciendo ahora -intentar generar vida autónoma, la ingeniería genética y poder construir una secuencia artificialmente- es crear una especie distinta por relación técnica. Por eso pienso que esta crisis monitorizada es el principio de esa conciencia de especie. En

el siglo XXI habrá un colapso para metabolizar todo esto, y este colapso nos dará la capacidad de, mediante modelos matemáticos y sistemas, fundar algo que los humanos podamos dirigir y controlar. Cambiar orden por organización.

Aurkene Alzua: Es una reflexión muy interesante pero, ¿no te parece que eso implica más que la medición? Porque tú estás hablando de medición y parametrización, lo que yo entiendo por medición y modelización, como algo parecido. Para modelizar necesitamos parametrizar, y lo cierto es que si estamos dando algunos pasos hacia adelante. Un poco, en la reflexión de esta mesa redonda, he hecho una lista de asuntos en la medición que son retos pero que suponen un cambio importante en la manera en que ya no solo medimos, sino que gestionamos la medición. Son dos cosas diferentes. Y no estoy hablando de interpretación, sino estoy hablando de la gestión de la medición, de la generación de sistemas de apoyo para la gestión de la medición. Estamos un poco lejos de lo que se comenta, a mi parecer, porque todavía tenemos retos considerables. Se trata tanto de la generación de los datos, de poder generar datos de naturaleza muy diferente, y de nuevos modelos para poder gestionarlos... Antes hablaba de datos que son fugaces, que sólo se pueden gestionar en un momento dado de una manera determinada, de datos que tienen un determinado ciclo vital, son efímeros, pero nos permiten alcanzar otra serie de hitos y respuestas. Pero también estamos caminando hacia la gestión de los recursos, y los recursos son datos y metadatos; y son datos distribuidos sobre todo espacialmente y también temporalmente y que generan, nuevas formas de trabajar con mayor comprensión de la realidad. La estructura de las bases de datos son ya diferentes, antes has dado un ejemplo buenísimo, sobre cómo empezamos a trabajar con estructuras de bases de datos totalmente diferentes a las que, tradicionalmente, hemos utilizado en ciencias sociales. Como hacemos frente con datos distribuidos, heterogéneos, estructuras completamente irregulares, con recursos más que con datos.

Las oportunidades que nos brindan las nuevas tecnologías, de abordar una observación de formas novedosa, nuevos datos, hace que podamos cuestionarnos en términos que nunca previamente hubiéramos sido capaces de diseñar o imaginar. Al principio se comentaba que por una parte es cierto que tenemos muchos datos pero nos encontramos también con grandes carencias a la hora de poder dar

respuesta a ciertas preguntas porque éstos no responden debidamente a cuestiones complejas, con lo cual necesitamos nueva tecnología, nuevos diseños, que a su vez nos dan apoyo en este camino hacia lo que él comentaba: la modelización de esos datos en nuevos paradigmas o en nuevas cuestiones.

Enrique Zuazua: Lo que pasa es que yo no sé si es tanto falta de datos, porque el modelo que ha descrito Eudald creo que es el modelo de la mecánica de los fluidos, de los gases, que es en el fondo la única que entendemos. Es como jugar al billar. Hay bolitas, tú le das a una, que a su vez le da a otra, la otra rebota... y al final produce carambolas totalmente inesperadas. Creo que en el ámbito que tú mencionas está la necesidad de axiomatizar, o sea, cuáles son las propiedades relevantes, qué sustituye al color, la temperatura, la velocidad; y eso es lo que creo que está por determinar. Y no sé si es tanto una cuestión de datos como más bien de todo lo contrario, que alguien se siente como decía Eudald antes y que haga el trabajo de Kant; y establezca lo que realmente determina el comportamiento social, los diez principales ingredientes y sus interacciones que puedan ser descritas en un pequeño mapa. No sé si eso está hecho. Me da la impresión de que para eso falta mucho. Y cuando esto se haga, los datos empezarán a encajar.

Eudald Carbonell: Yo creo que antes que modelización, lo cual también es verdad, estoy de acuerdo en que es una parte técnica y mecánica y hace falta una teoría de la evolución social.

Enrique Zuazua: La axiomatización.

Eudald Carbonell: La teoría de la evolución, que funciona tremendamente bien, y nadie ha sido capaz de encontrar una brecha que ataque a la descendencia con modificación. Esta teoría está cerca de la realidad. No es una teoría en el sentido de un artefacto explicativo, sino que explica la propia realidad, con lo cual ya tampoco es una teoría, sino una metateoría. Es un metasisistema porque normalmente los criterios normales en falsación científica dicen que una teoría que no puede ser falsada no es científica. Nadie ha podido establecer, ni desde la paleontología, ni la genética, ni la arqueología, ni la prehistoria, argumentos sólidos para rebatirla. Haría falta añadir a la teoría de la evolución biológica una teoría de la evolución social y ésta es mi gran aspiración, construir una teoría unificada de la evolución, explicar cómo somos capaces a través de las leyes de la biología y de sus interacciones culturales de establecer cuáles son las propiedades que

la socialización humana ha introducido en el proceso de adaptación biológica. Nosotros somos sociales por naturaleza, la emergencia de un descubrimiento y su socialización es un proceso que solo se da a nivel acumulativo y exponencial en los humanos, no se da en ninguna especie conocida. Hemos analizado desde seres unicelulares a pluricelulares, es decir, nuestra estructura social se ha retroalimentado gracias a la tecnología. La tecnología ha resocializado a los primates humanos. Tenemos algunos rudi-



“¿Hasta qué punto son interpretables por la comunidad no científica muchas de las variables que vemos y leemos?”

Iñaki Letona

mentos para intentar establecer leyes si somos capaces de establecerlas y que complementen la teoría biológica de la evolución, así estaremos en condiciones de llegar a nuestro objetivo.

Iñaki Letona: En esas mesas de sabios o de personas que intercambiáis datos y conocimiento, donde os reunís muchísimas disciplinas; por ejemplo, en los encuentros en las Islas Galápagos, se ha estado hablando efectivamente de que vamos hacia a una hecatombe...

Eudald Carbonell: ... a un colapso.

Iñaki Letona: A esto, principalmente, quiero referirme. En esos debates o encuentros, de las diversas disciplinas o multidisciplinas en las que convergéis en ese tipo de pensamientos o de conclusiones ¿habéis llegado a poder evidenciar el que se pueda dar ese colapso o a plantearnos si no está ya en marcha y es irreversible? Existe una cierta irreversibilidad o al menos eso tengo entendido. ¿Hay datos? En este sentido, pueden estar equivocados? Es decir, de todas estas dataciones, de estos conocimientos, de estas hipótesis, tesis... que se están poniendo encima de la mesa ¿hasta qué punto el error, tan importante en la medición, en este caso, es una esperanza?

Enrique Zuazua: Eso depende de la plasticidad social. Si no fuera por ella no habría esperanza. Es como en el cristal del coche: si tiene un pequeño poro... No sabes cuánto va a durar: igual dura cinco años o toda la vida. Salvo que haya otro elemento o agente que dote al cristal de capacidad de cambiar de fase, eso es un defecto que inexorablemente le va a conducir al colapso, a la catástrofe, a la singularidad. La cuestión es si la sociedad tiene la suficiente plasticidad como para absorber esas burbujas que le han surgido y que aún están ahí.

Iñaki Letona: Pero, ¿no se estarán confundiendo (interpretándolos erróneamente) con toda esa cantidad de datos que se manejan? ¿No nos estaremos confundiendo también nosotros?

Enrique Zuazua: Ni nos confundimos ni nos dejamos de confundir, hay burbujas que están explotando permanentemente. La inmobiliaria ha sido igual la más gorda, la que todos hemos vivido. Todo occidente hemos perdido un 20% de nuestro patrimonio, pero la cuestión es si globalmente el planeta y los humanos tenemos suficiente plasticidad como especie para ser transmutar a otra fase donde esa burbuja pueda ser digerida. Es como los gases en la digestión...

Iñaki Letona: Ligado a esto, los matemáticos trabajáis con datos, con variables de muy diverso tipo... ¿Hasta qué punto los matemáticos no sois una ciencia que ayuda y que confunde?

Enrique Zuazua: Confundir no; si uno usa bien las matemáticas, nunca confunde. Las matemáticas son una ciencia básica y, además, una herramienta pero, obviamente, hay que utilizarlas bien. Las paradojas de la estadística son bien conocidas, uno puede coger cualquier conjunto de datos y deducir cualquier tipo de comportamiento absurdo. Por eso hay que utilizarla bien.

Iñaki Letona: Te lo comento por lo siguiente. Yo he leído hace poco sobre los fractales, en concreto, *La geometría fractal de la naturaleza*, y, sin embargo, he visto que llevando esta teoría a su aplicación, p.e. a la biología, dentro de la complejidad que tiene, algunos matemáticos, físicos, médicos o biólogos, principalmente, opinaban que las conclusiones a las que se llegaban a través de la aplicación de la geometría fractal podían ser un engaño o se llegaba a conclusiones erróneas.

Enrique Zuazua: La teoría fractal lo único que indica es que hay determinadas estructuras geométricas que pueden ser reproducidas y que lo puedes hacer, por ejemplo, en los azulejos. La naturaleza acierta, en cierta medida reproduce estos fractales y acaba generando fronteras suaves allá donde parece que hay rugosidad, armonía donde hay desorden, etc. Pero no veo cómo la teoría de los fractales, que está basada en leyes autorreproductivas de funciones, que a veces convergen y otras divergen, puede confundir si uno las utiliza bien. Evidentemente la naturaleza es mucho más rica que cualquier construcción matemática y precisamente por eso seguimos haciendo ciencia. Pero no creo que se pueda achacar nada a la teoría fractal, que no es más que una clase de conjuntos que se fueron encontrando desde que se inició esa reflexión sobre incompletitud, la complejidad, los conjuntos de Cantor... Los conjuntos fractales no son más que reflejos de una constatación. Basta mirar el relieve de un objeto en cualquier ámbito de la naturaleza, para darse cuenta que no es solamente ceros y unos repartidos de manera regular. Pero no sé cómo se puede decir que la teoría fractal tiene algo de incierto o de confuso salvo que sea aquella confusión a la que pueda conducir el mal uso de la misma.

Iñaki Letona: Cambiando de tema, me gustaría conocer cuáles son las variables o datos que estáis trabajando, por ejemplo en vuestro caso, en CIC TOURGUNE.

Aurkene Alza: Estamos trabajando en ámbitos muy diferentes, pero te doy dos ejemplos. Uno, lo micro, poder medir, representar numéricamente; primero, los flujos de las personas que están fuera de su hábitat cotidiano en un entorno no habitual, no es mi casa o mi oficina. Por ejemplo, cualquier ecosistema o cualquier espacio determinado pueden tener un doble papel. Para ti Bilbao puede ser cotidiano y para mí no. Tenemos que saber quién es el visitante, quién está fuera de su entorno cotidiano, que es una gran dificultad. Es importantísimo poder identificar esa

partícula en ese espacio y entender y medir los ciclos afectivos de esas personas para empezar a poder inferir algún tipo de conocimiento entre patrones de flujos con evoluciones afectivas en un momento dado. ¿A qué se debe? Se sabe muy poco sobre cómo se «consume» el lugar, o el espacio temporal que hacemos las personas en un desplazamiento, como ejemplo de turismo. Es una cuestión muy difícil de medir y eso es lo que estamos haciendo en lo micro, en la medición, que tiene que ver mucho con todas las nuevas



“La arqueología, a gran escala, es medir el tiempo, como también el espacio donde se encuentra el registro arqueológico. Si no midiéramos, no existiríamos como agentes de conocimiento”

Eudald Carbonell

tecnologías que nos ayudan a seguir el rastro de una persona; el móvil, el dispositivo móvil es una herramienta de trabajo para nosotros. Y en lo macro, estamos buscando estructuras simples de comportamiento humano, más allá de lo coyuntural que viene dado por las realidades culturales y sociales en cada caso...

Esos son los dos grandes retos y ahí nos estamos encontrando con muchísimos problemas de los que he estado hablando antes, de la interoperabilidad, de la naturaleza de los datos, de la gestión de todos los datos, de la construcción de variables, etc.

Iñaki Letona: Eudald, vais a empezar una nueva campaña. La trigésimo segunda campaña, tengo entendido, campaña con otras mediciones... Aunque parece que siempre se repiten las mismas cosas, continuareis midiendo y descubriendo ...

Eudald Carbonell: Sí, empezamos la Campaña en Atapuerca el día 15 de junio cada año. Pienso que en nuestro sistema científico la redundancia es la que nos ha permitido establecer criterios que tienen cierta viabilidad evolutiva. Nosotros hemos tomado una serie de caminos y uno de los fundamentales y básicos es la medición del tiempo. Pongo un ejemplo para ilustraros. Cuando llegamos a Atapuerca con el profesor Emilia Aguirre hace más de treinta años, encontramos una mandíbula de 300.000 años. No había ningún dato radiométrico, solo la morfología de la mandíbula, pero sin aplicación de series isotópicas. Hemos profundizado en lo que es el origen del tiempo y de los homínidos en Atapuerca. Y de cuando empezamos con registros de una cronología desde 300.000, ahora estamos en 1.300.000. El reconocer una serie estadística evolutiva que asocie herramientas y homínidos y contexto faunístico, nos permite trazar una secuencia en arbusto, o la genética, que nos acerca a la comprensión de los fenómenos de adaptación y adquisición de los homínidos en este tiempo. Con lo cual, medir, paleomagnetismo, núclidos cosmogénicos, toda la física, y la física química que es la que nos permite la gran escala temporal para tener elementos parados en el tiempo, para establecer analogías y poder observar los cambios en estos procesos.

Y después, por supuesto, un segundo nivel, son los análisis de laboratorio que son la medición, espécimen por espécimen, tanto a nivel botánico como a nivel paleontológico que nos expliquen la ontogenia de los objetos, es decir, cómo estos objetos en esta escala general juegan un papel de variabilidad y cómo somos capaces de reducir esta variabilidad en un proceso filogenético, es lo que estamos trabajando ahora. Precisamente, a mí esta experiencia empírica y mis formas de conocer, me han dado la pauta para intentar abordar con un equipo de prospectiva, de prognosis, sobre los humanos, instrumentar elementos para la teoría de la evolución social. →

Enrique Zuazua: Los matemáticos tenemos tendencia, como todos los seres humanos, a intentar llevar las cosas a nuestro terreno, y nuestro terreno es el de los parámetros adimensionales. Entonces los matemáticos buscamos paradigmas como el que comentaba Aurkene, de lo micro frente a lo macro. Antes hablaba de encontrar modelos fluidos en el ámbito de las redes, y no es tan de sorprender lo que antes comentaba Aurkene en el ámbito del comportamiento de las personas cuando están fuera de su propio hábitat; uno empieza a pensar en modelos, en axiomas, en dinámica, en evolución y, posiblemente, se dará cuenta de que no es tan distinto a lo que antes hablábamos de las bolas de billar, de los fluidos, de las redes, de Internet, etc. A los matemáticos nos gusta llevar las cosas a ese terreno. Cuando lo que tenemos es un grafo, tenemos conexiones entre sus elementos y nodos e intentamos determinar qué es lo que hace que algunos puntos de ese grafo sean más importantes que otros. Por ejemplo, el algoritmo de Google, es un algoritmo simplemente matemático. ¿Por qué cuando uno pone en Google, por ejemplo, Bilbao, se sale seguramente la página web del Ayuntamiento de Bilbao y no te sale la página web de mi vecino que también se apellida Bilbao? Es la ordenación inducida por primer autovector de la matriz de conectividad del grafo que, según el teorema de Perron, en el caso de una matriz simétrica definida positiva, tiene todas las entradas positivas y como son positivas las puedes ordenar. Es en eso donde los matemáticos experimentamos el placer, el trabajar con ese tipo de temas. Dicho esto, como en BCAM somos un centro de matemática aplicada, todos los días tenemos que abordar temas más concretos, pero repito, siempre intentamos llevarlo al terreno de lo adimensional, de los axiomas y los modelos en temas, por ejemplo, como la medición del viento. Tú antes lo comentabas, los datos, la estadística, eso es algo tremendamente complejo. En el ámbito de la energía, en la energía eólica, por ejemplo, uno de los temas claves es la medición del viento, cómo se mide, cómo se extraen tendencias, consecuencias, etc. Tenemos ámbitos de trabajo variados como son las redes de telecomunicaciones, las energías, los fluidos, la biología matemática, la teoría de la elasticidad de los materiales, donde tenemos siempre que contrastar lo que hacemos con los datos numéricos y experimentales. Pero ahí tenemos un gran aliado que es el ordenador. Al final, los matemáticos hacemos modelos teó-

ricos que después trasladamos a algoritmos y que estamos en el ordenador. Muy rara vez hoy en día las matemáticas se cruzan con las tablas de datos directamente. En la actualidad, hay un intermediario, que es el ordenador, o sea, teoría matemática, ensayo en el ordenador y contraste con los datos. Y, a partir de ahí, como explicaba Eudald, esa mejora constante de los modelos, que evidentemente siempre son necesariamente demasiado simplificados. Esa mejora se produce a través del procedimiento de la asimilación de datos, que es lo que se ha hecho en meteorología de manera sistemática para ir mejorando los modelos, es decir, aprovechar el defecto del modelo que tenemos hoy para mejorarlo. ¿Por qué? Porque si somos capaces de evaluar qué defecto tiene el modelo ya sabemos en qué dirección lo tenemos que mejorar. Precisamente, con esa idea a mí me suele gustar poner un ejemplo para explicar lo que de alguna manera inspira a la teoría de la asimilación de datos, la optimización, el diseño matemático, etc.: Estamos de noche en el monte, no vemos nada, pero queremos bajar a casa, ¿qué haríamos? Palpar el terreno y avanzar hacia abajo. Pero eso ya sabemos que lo tenemos que volver a verificar de vez en cuando porque la pendiente del terreno puede volver a cambiar. Y eso es lo que en matemáticas se llama los métodos gradientes de descenso y es lo que en la práctica, con el intermediario del ordenador, nos está permitiendo acercarnos los modelos matemáticos a realidades cada vez más complejas. Y, por eso, el tiempo lo podemos predecir para siete días y no para dos como hace veinte años. Ahora, estamos todavía lejos de los millones de años...

Aurkene Alzua: Sin las matemáticas y las capacidades computacionales no podríamos avanzar. La mitad del trabajo o más que hacemos en nuestro centro tiene que ver con ello para la transformación de los datos porque, en nuestro caso, trabajamos en esta construcción de variables y de modelos complejos, no podríamos generar ningún puente hacia pequeños fragmentos de información, base de algunas premisas teóricas. Vosotros también trabajaréis y el apoyo de las matemáticas es fundamental.

Eudald Carbonell: Yo hice mi tesis sobre *El sistema lógico analítico aplicado a los conjuntos líticos pleistocenos del Mediterráneo occidental El Montgri (Girona)*. Me di cuenta que las clasificaciones que había eran arbitrarias, los objetos en vez de clasificarlos con una serie de variables conocidas se hacían por analogía. Por ejemplo,



“¿No se utiliza a la opinión pública con los datos que nosotros tenemos y usamos?”

Iñaki Letona

por la forma, una pieza tallada tenía forma de tortuga... núcleo de tortuga, esto es muy pedestre. Esta pieza tiene que ponerse en espacio-tiempo, apliqué la teoría de la información y apliqué, porque me pareció que era lo más correcto, la termo-dinámica del conocimiento de la morfología de los objetos. Apliqué el principio de entropía, una piedra que es un canto redondo, cuando le vas dando golpes hasta hacer un hacha, ¿qué ha pasado? Ha habido una pérdida de peso, de volumen y la aparición de formas intermedias hasta llegar a una forma final. Pues lo que hice fue, de los ochenta o noventa caracteres que utilizaban para clasificar una piedra lo reduje a seis. ¿Cómo lo hice? Muy sencillo, con estadística inferencial. Con análisis de correspondencia y análisis de componente principal, algoritmos muy sencillos, los que me permitieron ver que el peso de los ejes, con seis variables o siete de clasificación del objeto, obtenía entre el 60 y 90 % de información. Lo que hice fue suprimir las fichas de ordenador que había de la época que tenías que tomar decenas de datos. Reduje el número de variables para realización del análisis tecnológico-analítico. La teoría de la información y la termo-dinámica me dieron la llave para hacer el proceso y efectivamente, reduje a seis o siete. Este sistema de clasificación se ha aplicado en todo el mundo que es el éxito para establecer variables de la evolución de las piedras.



“Los matemáticos tenemos tendencia, como todos los seres humanos, a intentar llevar las cosas a nuestro terreno, el de los parámetros adimensionales”

Enrique Zuazua

Iñaki Letona: Insisto, con el aspecto del posible «error». ¿No os asusta el miedo al error? El error es intrínseco en la medición. Un error de datación, un error de aplicación en una variable, un error al tomar determinado tipo de σ (sigma)...

Enrique Zuazua: Aquí los científicos lo que tenemos que hacer no es acertar sino errar mejor.

Eudald Carbonell: Te puedo ilustrar lo que estás diciendo: se trata de una cuestión de paradigma científico. Cuando nosotros descubrimos el *Homo Antecessor*, trabajábamos en una secuencia estadigráfica de la cual teníamos muy poca información. Hay secuencias que las tenemos datadas porque llevamos mucho tiempo bajando en ellas y cuando llegamos a un nivel conocemos la biocenosis en cronología. Cuando hacíamos lo del *Antecessor* no sabíamos, encontramos los restos, se hacen las dataciones paleomagnéticas en este caso y dices, miren ustedes, la impresión paleomagnética está por encima de este nivel, es decir, lo que han encontrado tiene más de 850.000 años. Automáticamente, quien hace eso es el doctor Parés, un colega que trabajaba en Michigan (Estados Unidos), y le digo, ¿estás seguro?, ¿has hecho varias dataciones? Si no has hecho redundancia y lo que publicas es falso, posiblemente nunca más publiques nada, porque los colegas no entenderán que es un error, se entenderá que has hecho un protocolo mal. Por ejemplo, Harris, que trabajó en África, tuvo una confusión geoló-



“La Ciencia en su base tiene una tautología: lo importante no es la respuesta, sino la pregunta”

Eudald Carbonell

gica, porque no tenía un buen geólogo, y publicó unas industrias que tenían 8.000 años como si tuvieran dos millones y medio. Nunca más ha publicado nada. Esto realmente es un error muy grave, ¿por qué? Porque se ha hecho mal, el error no viene de que ha fallado una máquina, es porque se ha hecho mal. Todos cometemos errores, tenemos que evitarlos.

Aurkene Alzua: En el proceso metodológico ha habido un error en su caso. Yo creo que existen diferentes tipos de errores, pero lo cierto es que si le llamamos error al poder superar un paradigma y al poder enfrentarte a un nuevo método con un nuevo instrumento, que quizás es un camino erróneo, pero no hay otra manera para poder avanzar en el conocimiento... Yo no tengo ningún miedo al error. Lo que sí tengo es miedo a la falta de metodología científica, de procesos bien controlados, del trabajo sistémico y del rigor.

Cuando carecemos de esas habilidades o de esos procedimientos, entonces, se acabó.

Enrique Zuazua: Lo que sí es cierto es que en matemáticas antes el trabajo era muy individual, de modo que el margen de error estaba controlado a la mínima. Evidentemente, sí podía haber un error, pero cada uno, de alguna manera, trabajaba en los ámbitos en los que se sentía técnicamente capaz y, por tanto, llegaba hasta donde llegaba. La cosa empieza a ser más compleja ahora donde el tipo de problemática a



“La expresión de la medición nos ayuda a ser conscientes de ese gran mundo desconocido del que somos parte”

Aurkene Alzua

la que nos enfrentamos, muchas veces en centros como el nuestro, donde tienes que hacer frente a retos más ambiciosos, más complejos, más multidisciplinares, te obliga a involucrar a diferentes personas. Entonces, el coordinador del equipo de investigación no tiene más remedio que ceder parcelas de responsabilidad, de verificación, a colaboradores. Y es ahí donde uno, efectivamente, aumenta el riesgo. Nosotros cuando trabajamos en el ámbito aplicado industrial, como está claro que lo que desarrollamos son algoritmos para modelos más o menos adimensionales, después tiene que haber un post-proceso, una adaptación, un trabajo de ingeniería, de verificación antes de ser aplicados. Ahora, dentro del ámbito estrictamente matemático sí que es verdad que en el momento de poner varias disciplinas juntas se pierde un poco esa capacidad de verificación.

Eudald Carbonell: Vuelvo al ejemplo de la última mandíbula que descubrimos. Lo que se hizo para asegurar que haya integración de datos es reunir todo el equipo de especialistas delante del yacimiento, físicamente, en el nivel donde se encontró el fósil, que explicarán el contexto y toda la información analítica que proporciona el mismo. Los geocronólogos que presentan las series corregidas estadísticamente, los botánicos que presentan las muestras palinogramas, los arqueólogos que presentan sus datos y los últimos trabajos que se han hecho sobre el pe-

riodo que estamos trabajando. Y, en torno a eso, se certifica el artículo que después se publica. El resultado es un artículo consistente.

Aurkene Alzua: Es cierto que en sistemas distribuidos los errores crecen. No sé si es su caso o el nuestro. Pero lo cierto es que no solo no trabajamos solos, sino que hay muchos equipos parecidos al nuestro que trabajan en el mundo en cuestiones similares, con lo cual también tenemos capacidad de contrastar lo que estamos haciendo. Y creo que eso es muy importante. Cosas parecidas a las que hacemos aquí, se están haciendo en Filadelfia, en la Universidad de Temple o en Viena. Tengo colegas que están haciendo cuestiones similares y puedo ver cuán divergente o dispar es mi trabajo con respecto al suyo. Y yo creo que eso es también interesante, en el fondo tampoco estamos trabajando de manera tan aislada.

Iñaki Letona: ¿Puede existir la física sin las matemáticas? ¿Tendrían sentido las matemáticas sin la física? ¿Encuentran las matemáticas la medición en la física? ¿Son primas hermanas?

Enrique Zuazua: Matemática y física son lo mismo. Newton escribió los *Principia Mathematica*, y estableció los principios de la física y todo lo que hoy eso arrastra en los ámbitos de las ciencias sociales, de la antropología. También en esos ámbitos intentamos aplicar los *principia* de Newton en realidad. Entonces, las matemáticas y la física son hermanas gemelas y, a partir de ahí, establecer fronteras es muy difícil. De hecho existe esa disciplina que se denomina Física Matemática. Hoy se reseñaba el fallecimiento de Vladimir Arnold, como

gran físico y matemático, de la teoría de los sistemas dinámicos, los billares no lineales, etc. Arnold dio una charla muy bonita hace veintitantos años en Nueva York pues le habían dado el Premio del Tiempo –un joyero suizo judío que había hecho dinero y que había dotado el Premio del Tiempo–, por hacer una relectura de los *principia* de Newton. Él enfatizaba la dificultad de establecer las fronteras. Lo que sí es cierto es que hay una parte de esa física matemática que cada vez se ocupa de teorías más abstractas y más identificadas con las matemáticas; y otra parte de la física, que es ya más experimental, que trabaja con los láseres en los laboratorios de óptica y que se identifica más con la física de hoy. Pero siempre hay una interfase extremadamente difusa y común. Y estoy convencido que en el futuro va a seguir siendo así. Es como la informática. Me acuerdo del error histórico de los matemáticos al desinteresarse por la nuevas facultades de informática. Diez años después vieron cómo muchos alumnos se iban a la facultad de informática. Pero ahora, dentro de las matemáticas, uno de los grandes temas es el de la complejidad algorítmica, que ahora tiene sentido a través de los ordenadores y que consiste en intentar entender si los ordenadores van a ser capaces de crear realidades virtuales, que no van a corresponder con las que realmente nosotros conocemos e identificamos como físicas. Al final, las matemáticas quedarán como un punto muy pequeño en el mapa de las ciencias, pero en el centro, irrigando un poco todo el sistema

científico. Cada vez más, cuando oyes hablar a nuestros colegas desde las ciencias sociales, la antropología, la paleontología, te das cuenta que el nivel de las matemáticas va creciendo también en esas disciplinas, como si el grifo estuviera abierto.

Aurkene Alzua: Yo ahondaría un poco más en lo que dices, estoy totalmente de acuerdo. En mi opinión ha sido un error hacer que las ciencias naturales y la matemática trabajaran a espaldas de las ciencias sociales y las humanidades. Yo creo que no vamos a ningún sitio así. De hecho, la realidad nos está diciendo que esa convergencia es la que está generando importantes innovaciones en el campo científico y nos está ayudando a comprender mejor los fenómenos de nuestro entorno, sean de carácter natural o sociales. Creo que seguiremos requiriendo de trabajar más en representaciones numéricas. Nosotros buscamos dar una representación numérica a un fenómeno específico y poder representar también lingüísticamente lenguajes lógicos, gramáticas lógicas, que es la base prácticamente de todo lo demás. Yo creo que la matemática se ha beneficiado de la filosofía, por ejemplo, del pensamiento abstracto. Y yo creo que estaba y estará en la base de todo lo que hacemos. La finalidad está en llegar a mayores grados de comprensión mediante la representación formal del conocimiento.

Enrique Zuazua: Einstein dijo algo sí como: ¿cómo puede ser que la matemática, una construcción artificial de la mente humana, sea capaz de describir la realidad con tanta fidelidad? ■



Entorno CIC 44



■ Imagina un lugar donde la ciencia, la tecnología y la innovación pueden avanzar y desarrollarse plenamente.

EUSKADIKO PARKE TEKNOLOGIKOEN SAREA
RED DE PARQUES TECNOLÓGICOS DEL PAÍS VASCO

rpte.net



Parque Tecnológico de Bizkaia



Parque Tecnológico de Alava



Parque Tecnológico de San Sebastián



Polo de Innovación Gaiña