

Aparentemente no había sido sometido a radiación alguna, pero tenía una extraña y sorprendente capacidad de mutar. Era la envidia y admiración de todas las gentes. Tan pronto adquiría dimensiones de millones de kilómetros y se acercaba al mundo planetario, como se reducía al tamaño de las centésimas de milímetro y podía visualizar las células del cuerpo humano. Lo llamaban *Lupa*. A pesar de estos poderes, *Lupa* era un viajero solidario, que le gustaba compartir sus experiencias con todos los que a él se acercaban. “Cuánto sabes”, le repetían continuamente las gentes. Ciertamente, ese era su don máspreciado. Pero una cosa le inquietaba. ¿Cómo podían medir su sabiduría?

Lupa se encontraba en el Museo Internacional de Pesas y Medidas de París. De repente, una barra de aleación platino-iridio se le acercó.

Metro. Buenos días, *Lupa*.

Lupa. Buenos días. Y tú, ¿quién eres?

Metro. Soy una barra un tanto especial. Me llaman *metro* (abreviadamente *m*). Fíjate en este tatuaje que tengo en mi cuerpo, formado por dos finas rayas. La distancia entre las mismas se toma como patrón. Esa distancia coincide con tu estatura. Podemos decir que mides 1 m, *Lupa*. Sin embargo, tú tienes capacidad para acercarnos a nuestros ojos mundos grandes y lejanos, como los planetarios, o mundos microscópicos, como el de las células del cuerpo humano. Para definir con precisión esos mundos, tienes que recurrir a múltiplos y submúltiplos de mi persona. Por ejemplo, de ese árbol que es diez veces más alto que yo, puedes decir que mide 10 m. Y de esa hormiga, que mide mil veces menos que yo, puedes decir que mide 0,001 m o la milésima parte del metro (10^{-3} m). Como ves, soy la unidad de referencia, el patrón de las medidas.

Lupa. Muy bien, pues voy a ver si sé utilizarte. Voy a medir la distancia más corta que hay entre Dunkerke y Barcelona.

Y tras un largo viaje por una carretera sin curvas, que por cierto, pasaba por París, *Lupa* pudo por fin obtener elpreciado número.

Lupa. Perdona por el retraso. Pero es que he recorrido nada más y nada menos que la cuarta parte de la Tierra. En fin, al menos creo que he conseguido mi objetivo. La distancia entre Dunkerke y Barcelona es 10.001.869 mayor que tú, metro. Es decir, de acuerdo a tus explicaciones, puedo decir que la distancia que separa ambas localidades es de 10.001.869 m. ¿Es correcto?

Metro. Sí, de hecho antes de ser un trozo de barra, en 1791, la Academia Francesa de Ciencias, para referirse a mí, hablaba de la diezmillonésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París.

Lupa. Qué bien. Entonces sé medir. Así puedo utilizarte para medir mi sabiduría, que es algo que me inquieta, porque todo el mundo sabe medirla menos yo.

Metro. Me temo que no te puedo ayudar, Lupa. Yo nací para medir longitudes.

Y Lupa abandonó entonces su propósito de medir la sabiduría. Aprovechando sus poderes, decidió tomarse unas vacaciones e iniciar un viaje que le llevaría por las diferentes escalas de este mundo.

Metro. Un momento, Lupa. No te vayas. ¿Cómo haces para acercarte a esos mundos tan lejanos a mí?

Lupa. El secreto reside en mi lente. Con ella puedo acercarme a mundos grandes, pero lejanos, como el de los planetas. Entonces me llaman *telescopio*. Hasta unos diez mil kilómetros (10^7 m), podemos todavía contemplar los movimientos del aire, sus nubes y sus vientos incesantes, el fluir, más sereno, de los ríos y las corrientes oceánicas, del hielo glacial y el majestuoso deslizamiento de las masas sólidas continentales. Abandonamos la Tierra, aunque no del todo el dominio de la humanidad, al rebasar los diez mil kilómetros (10^7 m). Hasta la Luna han llegado intrépidos exploradores. Se requiere una escala siete potencias de diez mayor, la escala de 10^{14} m, para alcanzar las fronteras de nuestro sistema solar, en cuyos confines se encuentran los cometas jamás vistos. Pedro Duque, astronauta español de la Agencia Espacial Europea y Premio Príncipe de Asturias 1999, es nuestro mejor embajador en estos mundos.

Metro. Eso es el macrocosmos, ¿verdad? Y, ¿qué me dices del mundo de lo más pequeño?

Lupa. Si volvemos la mirada en dirección contraria, hacia adentro, alejándonos del metro en dirección al milímetro, llegamos al microcosmos. Precisamente el milímetro marca la frontera de lo que podéis distinguir a simple vista los humanos. Las crías de muchos insectos y los ejemplares adultos de las especies más pequeñas tienen estas dimensiones. Por debajo del milímetro ya necesitáis mi ayuda y me ponéis entonces *microscopio* comoseudónimo. En esa escala se encuentran las células que integran a todos los seres vivos, desde las de la bacteria más pequeña hasta las del árbol más grande. La mayor parte de las células de nuestro cuerpo miden alrededor de una centésima de milímetro, como los glóbulos rojos que transportan oxígeno por la sangre o los glóbulos blancos de nuestro sistema inmunológico.

Metro. Muchas gracias, Lupa, por toda esta información. Vaya mundos más fascinantes. Que tengas un buen viaje.

Y Lupa se despidió del metro, dispuesto a emprender un viaje por estos prometedores rincones del Universo. Lupa era muy metódica y no le gustaba dejar ningún cabo suelto. Así que se desplazó con suficiente antelación a la estación de partida, dispuesta a planificar cuidadosamente su viaje. Estaba esbozándolo en un papel, cuando empezó a sentirse observado.

Grafo. Buenos días, Lupa.

Lupa. Buenos días. ¿Quién eres?

Grafo. Soy un grafo. Existen cierto tipo de problemas que únicamente tienen que ver con un conjunto de puntos y ciertos trazos que los unen, como es el caso que a ti te ocupa ahora. Para eso estoy yo. En el fondo no soy más que un conjunto de puntos y de líneas que unen algunas parejas de puntos. Puedes utilizarme para trazar tu mapa del

viaje, resaltando los puntos en los que quieres detenerte y las carreteras por las que quieres viajar.

Lupa. Estupendo. Me facilitas mucho el trabajo. Sinceramente, había oído hablar de ti, pero no pensé que fueras una persona tan sencilla.

Y Lupa dibujó entonces un grafo, en el que lograba resumir y planificar su viaje. Inmediatamente, se acercó a la taquilla de la estación, pues todavía no había comprado el billete.

Naturaleza. Buenos días. ¿Qué deseaba?

Lupa. Quería un billete para efectuar un viaje por la materia, en el que pueda recorrer los mundos macroscópico y microscópico.

Naturaleza. Hay viajes directos y con paradas. ¿Cómo desea hacerlo?

Lupa. Prefiero hacerlo con paradas. En este grafo le muestro el itinerario a seguir.

Naturaleza. Está bien. Aquí tiene el billete.

Lupa. De acuerdo. ¿Qué le debo?

Naturaleza. Nada. Es una promoción de la Agencia Universo. Queremos fomentar la participación en este tipo de viajes. El único precio que deberá pagar es la renuncia a otros menesteres, quizás aparentemente más atractivos.

Y Lupa se marchó feliz con su billete. Lupa era un viajero curioso y estaba dispuesto a recibir sorpresas e incluso a correr riesgos, con tal de explorar parajes desconocidos. Eran las 7:30 horas y el tren estaba a punto de llegar. En la estación sólo estaban él y otro pasajero, que no cesaba de mirarle. Parecía asustado y dubitativo. Lupa se acercó a él por si precisaba su ayuda.

Lupa. Buenos días. ¿Puedo ayudarle en algo?

Entropía. Por supuesto que me puede ayudar. Todos podemos aportar algo a la sociedad, sea cual sea nuestra posición. Pero creo que quizás hoy le seré más útil yo a usted que usted a mí.

Lupa no entendía nada. ¿Quién era ese señor, aparentemente tan tímido, y que pronunciaba esas aseveraciones tan rotundas?

Entropía. Soy la entropía, Lupa. El Universo ha conspirado para que hoy podamos estar juntos y pueda ayudarte a resolver una de tus grandes inquietudes. En el futuro, cuando las personas hagan referencia a tu sabiduría, tú podrás contestarles: Yo sé 50, 43, 87, ... De igual manera que puedes medir la distancia entre Dunkerke y Barcelona, también podrás medir tu sabiduría y tu ignorancia. Voy a enseñarte a hacerlo. Fíjate bien en todo lo que te voy a contar ahora. Porque ya no me volverás a ver. A la vuelta del viaje, te recibirá otro señor llamado *cantidad de información*. Él y yo somos incompatibles. Yo represento a la ignorancia. Cuando aparezca en escena la información, yo ya no pinto nada. Ciertamente, la incertidumbre y el desconocimiento que tú tienes antes del viaje sobre esos parajes desconocidos, se convertirá después en cantidad de información que me aniquilará por completo. Entropía (incertidumbre) y cantidad de información, en el fondo, toman los mismos valores. Cuando tu aprendes algo, ese aprendizaje viene a reemplazar el vacío que ocupaba tu ignorancia. Esto seguro que ya lo sabías. Yo sólo estoy dándole formato matemático a esta realidad. En torno a nosotros, Lupa, hay toda una teoría matemática, la Teoría de la Información, basada en el supuesto de que ésta es medible.

Lupa. Está bien. Pero vayamos al grano. ¿Cómo puedo medir la información? ¿Tiene sentido calcular la cantidad de información?

Entropía. No es evidente el que tenga sentido hablar de la cantidad de información contenida en una noticia y el querer medirla con un número. Si queremos introducir tal medida, tenemos que hacer abstracción de la forma de la información y también de su contenido. Debemos operar como el empleado de telégrafos que, para calcular la suma a

pagar, sólo tiene en cuenta el número de palabras del telegrama. O como el operador de telefonía, que emite la factura en función del número de SMS enviados y del tiempo hablado.

Lupa. Hace poco estuve con el metro y me comentó que él era el patrón de las medidas.

Entropía. Sí, Lupa, pero ese patrón, aunque adecuado para medir longitudes, no es adecuado para medir la cantidad de información. No seas impaciente. Voy a tratar de explicarte como hacerlo. Imagínate que lanzas una moneda al aire. Sólo hay dos posibles alternativas: que salga cara o que salga cruz. Tras el lanzamiento, puedes decir que has obtenido un *bit* de información. Y entenderemos el significado de un bit como la forma más simple de dar una información: eligiendo una entre dos alternativas posibles. El bit será ahora el patrón de medida de la cantidad de información y de la entropía. Antes del lanzamiento de la moneda, tenías una incertidumbre o entropía de un bit. Después del lanzamiento, esa entropía ha desaparecido y se ha convertido en un bit de información. Entropía e ignorancia son, en definitiva, lo mismo, tal como te acabo de comentar. En un caso te sitúas antes del lanzamiento y en el otro caso después.

Lupa. ¿Y por qué has elegido como patrón el bit?

Entropía. Podríamos haber elegido otro patrón, Lupa. La utilización del sistema binario, en detrimento de otros sistemas, se debe a imperativos tecnológicos. Así, por ejemplo, para almacenar la información los ordenadores usan núcleos de ferrita, cada uno de los cuales puede adquirir dos estados diferentes de magnetización. Estos dispositivos representan, por lo tanto, el medio natural para almacenar el valor de una variable que sólo puede tomar dos valores. En el mundo de la Electrónica son también muy comunes los tiristores y los “triacks”, dispositivos que sólo permiten uno de dos estados posibles (pasa o no pasa corriente). Son el análogo en el mundo de la Electrónica a los interruptores en el mundo de la Electricidad. Puedes comprobar con estos sencillos ejemplos, Lupa, como la tecnología demanda el sistema binario. Toda noticia, toda información, se puede traducir a una serie de ceros y unos y así adaptarla a los requerimientos tecnológicos.

Lupa. Sí, me parece lógico. Pero todavía no alcanzo a ver con claridad la forma de medir la cantidad de información y la entropía. En el caso del lanzamiento de una moneda, lo entiendo, porque sólo hay dos posibilidades. Pero, ¿qué ocurriría si tuviese más de dos posibilidades? Por ejemplo, voy a sumergirme en el mundo microscópico, en la escala de 10^{-8} m, y acercarme hasta una determinada zona del genoma humano. ¿Cómo puedo calcular la entropía allí existente?

Entropía. Mira, Lupa, el alfabeto genético está formado por cuatro letras: A, T, C y G. Puedes encontrarte con cualquiera de ellas. Tienes cuatro posibilidades igualmente probables. Para afrontar el problema, puedes agrupar las cuatro letras en dos conjuntos de dos letras. Imagínate que en un primer conjunto tienes a las letras A y T y en un segundo conjunto a las letras C y G. La letra del genoma pertenecerá a uno de esos dos conjuntos (incertidumbre de un bit). Una vez que sepas que pertenece a un determinado conjunto, tendrás ya sólo otro bit de entropía, pues en ese conjunto ya hay sólo dos letras posibles. Es decir, tienes que hacer dos elecciones sucesivas para llegar a una determinada letra. Cada elección está formada por dos alternativas y conlleva, por lo tanto, un bit de incertidumbre. Sumando ambas contribuciones, puedes decir que la entropía en ese punto concreto del genoma es de dos bits.

Lupa. Creo que ya lo entiendo. Voy a acercarme ahora a la escala de las centésimas de milímetro para visitar a los glóbulos rojos de nuestra sangre y calcular la entropía allí existente. Tengo un problema, pero ahora no es matemático. No sé cuantos tipos de sangre hay y, por lo tanto, no sé donde puedo aterrizar.

Naturaleza. Lupa, la membrana celular de los glóbulos rojos puede contener en su superficie diferentes proteínas, las cuales son responsables de los diferentes tipos de sangre. Existen principalmente dos tipos de proteínas, la proteína A y la proteína B. De la presencia o ausencia de las mismas, surgen los cuatro grupos de sangre: A (tiene la proteína A en la superficie del glóbulo rojo), B (tiene la proteína B), AB (tiene ambas proteínas) y 0 (no tiene ninguna). En cada uno de esos grupos, puede o no estar presente otra proteína denominada rh. Si está presente en la superficie del glóbulo rojo, éste se denomina rh positivo, y si está ausente rh negativo.

Combinatoria. Mira, Lupa. Tienes cuatro grupos sanguíneos. Para cada uno de ellos hay dos posibilidades (rh positivo o negativo). Aplicando entonces el principio de multiplicación de la Combinatoria, tienes cuatro por dos, es decir, ocho tipos de sangre. Yo me ocupo precisamente de eso, de responder a la pregunta *cuántos*.

Naturaleza. Bueno, Lupa, pues aunque no lo necesites, yo te voy a responder a la pregunta *cuáles*. Los ocho posibles tipos de sangre son: A^+ , A^- , B^+ , B^- , AB^+ , AB^- , O^+ y O^- .

Aclarada la situación, Lupa dio entonces un salto de tres órdenes de magnitud, para desplazarse de la escala de los 10^{-8} m, en la que había estado visitando al ADN, a la escala de los 10^{-5} m, en la que se encontraban los glóbulos rojos. Llevó un fuerte golpe al llegar a su destino, después de ese considerable salto, y quedó un rato inconsciente. Cuando se recuperó, vio que se encontraba sobre el tipo de sangre etiquetado como AB^+ . Quizás no hubiese sido casualidad ir a parar ahí. Lupa sabía que sería bien acogido. Por algo las gentes llamaban a AB^+ receptor universal.

Lupa sabía ahora exactamente donde se encontraba. No tenía ninguna duda. La entropía (incertidumbre) había desaparecido. Había logrado identificar un tipo de sangre entre los ocho posibles. Se acordó entonces de lo que le había dicho la entropía: "Cuando regreses del viaje yo ya no estaré, sino otro señor llamado cantidad de información".

Lupa se dispuso a calcular la cantidad de información ganada tras haber aterrizado en ese tipo concreto de sangre, entre los ocho posibles.

Lupa. Tengo ocho alternativas posibles, que las puedo dividir en dos conjuntos de cuatro elementos. Escogí uno de esos conjuntos. Este conjunto de cuatro elementos, lo dividí en dos conjuntos de dos elementos y opté por uno de estos dos conjuntos binarios. Finalmente escogí un elemento de ese conjunto binario. Tuve que hacer tres elecciones sucesivas a dos estados igualmente probables. Por lo tanto, creo que puedo concluir que la cantidad de información es de tres bits.

Cantidad de información. Sí, Lupa, estás en lo correcto. Que sepas que en el futuro, cuando tengas que hacer estas medidas, no hará falta que pienses tanto. Te voy a regalar una máquina que pensará por ti. Se llama logaritmo en base dos. Esta máquina

contabiliza las sucesivas divisiones que tienes que ir haciendo, de dos en dos, partiendo de un conjunto inicial, hasta que llegues a un único elemento. Y no hace falta que el número de elementos del conjunto sea un múltiplo de dos. Funciona para cualquier número real positivo.

Lupa. Muchas gracias. Pues voy a aprovechar para dar un fuerte salto y acercarme hasta alguno de los nueve planetas del Sistema Solar. Seguro que en ese mundo macroscópico, la cantidad de información es grandísima.

Y Lupa dio un fuerte salto. Tras pasar fugazmente por la escala del metro, llegó a la escala de los cien mil kilómetros y aterrizó en un planeta inconfundible: Saturno.

Naturaleza. Te das cuenta que bonito es el Universo, Lupa. Un anillo sujetando a una esfera. La simetría, el círculo, la esfera, ..., la expresión matemática de lo perfecto.

Lupa. Sí, me parece maravilloso. Pero yo venía a otra cosa. Si hay nueve planetas en el Sistema Solar, la cantidad de información que obtengo al saber que estoy en Saturno es de 3,17 bits, según esta maquinita que me han regalado. No es tan grande como yo pensaba. Es del mismo orden de magnitud que la cantidad de información que medía en el mundo microscópico.

Naturaleza. Lupa. No hay enemigo pequeño. El reino de lo minúsculo encierra muy valiosa información, que no debes despreciar. Y es que, por ejemplo, te recuerdo que sólo has visitado un eslabón del genoma humano. Pero que sepas que ese genoma es una cadena de tres mil millones de eslabones. En cada eslabón hay una de esas cuatro letras (A, T, C, G) y contiene una cantidad de información de dos bits, tal como has visto. Si sumas todas esas contribuciones, te encontrarás con una cantidad de información de seis mil millones de bits. Teniendo en cuenta que un byte, equivale a ocho bits, es lo mismo que decir que tienes setecientos cincuenta millones de bytes. Agrupando los bytes de 1024 en 1024, generas un Kilobyte. Puedes decir entonces que la cantidad de información del genoma es de 732.421,88 Kbytes. Y si agrupas los Kilobytes de 1024 en 1024, para generar Megabytes, te encuentras con que el genoma humano encierra nada más y nada menos que 715,26 Megabytes de información. Bien

es cierto que no toda esa información es útil. Los bioquímicos cifran en un 5% la información realmente valiosa. No obstante, la información está ahí. Quizás tampoco toda la información que tenemos almacenada en los discos duros de nuestros ordenadores sea valiosa.

Lupa. Me parece increíble. ¿Tres mil millones de letras? ¿Qué longitud tienen las cadenas de ADN? ¿Cuánto mide el genoma humano?

Naturaleza. Mira, Lupa. Si usases un tipo de letra como la de este relato, la cadena mediría 5000 km, la distancia de Barcelona a Nueva York. Y sin embargo, esa cadena estirada sólo mide 2 m. Pero además, has de saber que en la Naturaleza no está estirada, sino enrollada. Y sólo ocupa unos pocos nanómetros, entendiendo por nanómetro 10^{-9} m. Es la Nanociencia. Ahí están los secretos de la vida misma. Hoy en día está muy en voga la Nanotecnología. Los seres humanos intentan copiar de la Naturaleza y construir cosas grandes en dispositivos minúsculos. Es una carrera hacia lo más pequeño. Por otra parte, has de saber que lo que acontece en este mundo macroscópico es una consecuencia directa de lo que sucede en el mundo microscópico.

Lupa. Mundo macrocópico, mundo microscópico, ... Ser grande, ser pequeño. Cuando me hablas de lo grande, te refieres a lo que mide más que yo, 1 m; y cuando me hablas de pequeño, a lo que mide menos que yo. Es así, ¿verdad?

Y entonces, apareció por primera vez en el viaje una niebla que empezó a inquietar a Lupa.

Lupa. Vaya. Ahora llega esta niebla. Así no puedo contemplar con claridad estos bonitos paisajes.

Fuzzy. Hola, Lupa. Soy Fuzzy, que significa algo así como difuso, parecido a esa niebla que tanto te molesta. Estoy aquí para hacerte recapacitar. Has dicho que lo que mide más de un metro es grande y lo que mide menos es pequeño. Según, esa afirmación, 0,000001m es pequeño. Y 10.000.000 m es grande. Pero también, empleando el mismo

razonamiento, 0,9999 m es pequeño y 1,0001 m es grande. No puede una magnitud pasar de ser pequeña a grande por ese pequeñísimo cambio.

Lupa. Tienes razón. No había caído en ello. Soy demasiado cuadriculado. Estoy tan obsesionado con el dos en todo este viaje, que ahora quiero atribuir únicamente dos estados a las cosas.

Fuzzy. No te preocupes. No eres el único. En la antigüedad, 400 años antes de Cristo, Aristóteles, Parménides y sus seguidores, pensaban como tú. Decían que toda proposición sólo puede ser verdadera o falsa, que traducido a tu contexto, es lo mismo que decir que las cosas sólo pueden ser grandes o pequeñas. Mira, Lupa. Las cosas pocas veces son blancas o negras. El gris es el color de la vida. Precisamente para eso estoy yo aquí, para evitar esos tránsitos tan bruscos como el que tu querías hacer, propios de la Lógica Clásica. Pero con la Lógica Difusa, las cosas pueden ser simultáneamente grandes y pequeñas. Pueden tener cierta pertenencia al conjunto de los grandes y al mismo tiempo al conjunto de los pequeños. Podrías decir, por ejemplo, que un determinado objeto tiene un grado de pertenencia de 0,3 al conjunto de los pequeño y de 0,7 al conjunto de los grande. Y según vaya aumentando su tamaño, se reducirá su grado de pertenencia al conjunto de lo pequeño y aumentará la pertenencia al conjunto de lo grande. De esta forma, lograrás tránsitos más suaves del mundo microscópico al macroscópico. No hay un punto concreto que te permita separar lo pequeño de lo grande, Lupa, ni dos estados exclusivos. En realidad hay infinitos estados, según Zadeh, el padre de la Matemática Difusa.

Lupa. Qué maravilla. Nunca me había parado a reparar a ello. Es fascinante. Todo es cuestión de grado.

Y Lupa se decidió entonces a emprender un viaje a un mundo que tiene más de pequeño que de grande: el mundo atómico. Para ello debería penetrar en las entrañas de la materia hasta llegar a la escala del Angstrom o 10^{-10} m. Pero Lupa no pudo llegar a su destino. Sus lentes no eran capaces de acercarle hasta ese reino tan minúsculo. Lupa cogió entonces una piedra que tenía a su lado y la arrojó fuertemente con rabia a lo alto.

Pero, ¿cual sería su sorpresa, cuando la piedra cambió su trayectoria, sin tener ningún obstáculo visible en su camino?

Naturaleza. Lupa, si la piedra rebotó, es porque chocó con un átomo en su camino. Eso es lo que hacen precisamente los científicos para tener una idea de cómo es el mundo atómico. Lanzan rayos-X y, en función de cómo salen rebotados, deducen cuáles eran los átomos contra los que chocaron los rayos.

Lupa. ¿Y con qué átomo chocó mi piedra?

Naturaleza. A saber. Hasta la fecha, se ha confirmado la existencia de 116 elementos químicos diferentes en esa agenda conocida como tabla periódica. No obstante, los científicos intuyen la existencia de otros dos elementos más. Tendríamos un total de 118 elementos, que combinándolos entre sí, dan lugar a la gran variedad y diversidad de sustancias que tenemos en el planeta Tierra.

Lupa sacó entonces su maquinilla y se dio cuenta de que tenía una entropía o ignorancia de 6,88 bits sobre el mundo atómico. Pero estaba dispuesto a combatirla y convertirla en cantidad de información. Para ello, se compró una máquina de rayos-X e iniciaba así un nuevo periplo por esos mundos a los que su lente no lograba asomarse.

Naturaleza. Mira, Lupa, los rayos X que tú vas a disparar puedes interpretarlos como ondas o como corpúsculos. ¿Sabes lo que es una onda, verdad? Pues algo tan sencillo como el efecto que hace el agua al tirar una piedra. Lo mismo que las ondas acuáticas, los rayos X tienen a lo largo de su recorrido máximos y mínimos de recurrencia periódica. Situado en un punto cualquiera de su ruta, cuenta durante un segundo los máximos que alcanza la onda. Tienes entonces la *frecuencia* de la radiación, que se mide en ciclos por segundo. Una descripción alternativa, pero que encierra la misma información, es la distancia entre dos máximos o mínimos consecutivos de la onda. Se conoce como *longitud de onda*, y se mide con tu amigo el metro, o con múltiplos y submúltiplos. Finalmente, para hacer referencia a la altura de los máximos o la profundidad de los mínimos, se recurre al concepto de *amplitud*, que también se mide en metros.

Lupa. ¿Y hay más ondas?

Naturaleza. Hay muchas más ondas, por supuesto. Con algunas de ellas convives todos los días: las ondas de radio, las de la televisión, las del microondas, las de los teléfonos móviles, ... Lo que diferencia a unas de otras es la longitud de onda (o la frecuencia, que es inversamente proporcional a la longitud de onda). Para poder explorar adecuadamente el Universo del Angstrom (10^{-10} m), el escenario por excelencia de la Química, de sus átomos y moléculas, necesitas una "regla" apropiada. Los rayos X, con una longitud de onda de 10^{-10} m, son el instrumento adecuado. Las ondas de radio, por ejemplo, con una longitud de onda en torno al kilómetro, no son apropiadas. Es como si intentas medir un insecto con una regla cuyas divisiones son de 1 m. En el otro extremo, por ejemplo, los rayos gamma, con una longitud de onda en la escala de los picómetros (10^{-12} m) tampoco resultan apropiados. Son demasiado "sensibles". Sería el análogo a medir la distancia de Barcelona a Nueva York con una regla de 1 m. Esto justifica la utilización de los rayos-X para acceder al mundo atómico y molecular, Lupa. Lo único de lo que debes preocuparte es de examinar las ondas rebotadas o difractadas por la materia.

Lupa. Me sigue pareciendo muy complejo.

Fourier. Para eso estoy yo, Lupa. Cualquier onda puedes descomponerla en una suma de ondas más sencillas. Así el problema es más fácilmente abordable. Es como si tienes un gran proyecto en una empresa. Lo analizas y distribuyes en áreas, que encargas a departamentos especializados.

Y Lupa empezó a disparar a rayos. Y así pudo observar el mundo atómico y molecular. Había cruzado la barrera de lo invisible. Los átomos aparecían ante sus ojos como los picos de una montaña, los máximos del lenguaje matemático. Entre algunas parejas de átomos, había un valle uniéndolos y un punto de silla, mínimo a lo largo de una dirección y máximo con respecto a otra perpendicular. El punto de silla aparecía como el elemento topológico revelador del enlace químico. Así pudo descubrir Lupa, al disparar sobre una placa de hielo, que el agua estaba formada por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno, entre los cuales no había ligadura alguna.

Grafo. Lupa, eso que acabas de descubrir es el grafo molecular del agua. Los átomos son los puntos, nodos o vértices del grafo. Los enlaces químicos son los lados del grafo. Similar a un mapa de carreteras, donde los puntos representarían ciudades y los lados las carreteras que las unen. Porque has de saber, Lupa, que yo puedo simbolizar un montón de situaciones de la vida real. Yo soy el rey de la topología. Cuando sólo importa la conectividad entre los elementos de un conjunto, allí me verás. Y aprovecho para decirte que la distancia topológica entre los dos hidrógenos de la molécula de agua es de dos (hay que recorrer dos lados para ir de un átomo a otro). Y la distancia topológica del oxígeno a cualquiera de los hidrógenos es de uno (sólo que hay recorrer un lado). Estas distancias nada tienen que ver con las que tu medías de Cherenke a Barcelona. Esas eran distancias euclídeas.

Lupa. Cantidad de información, entropía, distancias topológicas, distancias euclídeas, ... Cuántas medidas admite este mundo en el que estamos inmersos.

Y tras esa breve reflexión, Lupa reanudó su viaje. Así pudo contemplar que no sólo los átomos se unen mediante enlaces químicos para formar moléculas. También pudo observar como las moléculas se enlazan para formar macromoléculas. Estas últimas también se unen y llega un momento en el que aparece en escena el ADN, la molécula de la vida. Hombre y mujer se dan la mano para formar un matrimonio. Los planetas se unen para formar el Sistema Solar. Y así podría seguir este viaje de lo más pequeño a lo más grande. Lupa se sentía afortunada de haber podido contemplar todos esos bellos horizontes y de haberse adentrado en las entrañas de la Naturaleza en sus diferentes escalas y manifestaciones.

Se terminaba así un precioso viaje por la materia. Al llegar al punto de destino, Lupa se paró a examinar con calma esa maquinita, llamada logaritmo en base dos, que le había regalado la Naturaleza. Se preguntaba cómo podía hacer la máquina para razonar igual que los humanos.

Inteligencia Artificial. Mira, Lupa, esa maquinita es muy simple. Pero yo si que soy capaz de razonar y de evitar la intervención humana en múltiples ocasiones. A veces me llaman *sistema experto*. Y entonces soy capaz de reemplazar al experto humano en un

determinado campo del saber, denominado dominio. Soy muy útil, porque no siempre todo el mundo tiene a su lado un experto humano, que pueda resolverle un determinado problema en un momento dado. En el fondo, soy un ordenador al que el ser humano ha intentado volcar sus conocimientos y experiencias. Ya lo decía Einstein, vaticinando el nacimiento de la Inteligencia Artificial: "El ser humano piensa bien, pero lo hace lento. Los ordenadores no piensan, pero calculan rápido. Juntos podrían ser una herramienta perfecta". Estamos ante la Inteligencia Artificial.

Lupa. Interesante, sí señor. Te llevaré conmigo en mi próximo viaje. Así podré viajar descansado y disfrutar más del mismo. ¿Tienes muchos años, inteligencia artificial?

Inteligencia artificial. Hay quien sitúa mi nacimiento en el año 1956, en una reunión en la que se planteó la posibilidad de construir máquinas inteligentes. Cuando me lo recuerdan, siempre me llama la atención, porque en aquel entonces la informática apenas se había desarrollado. Allí se encontraban, entre otros, tu amigo Shannon y una larga lista de investigadores, convocados por John McCarthy, investigador del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT).

Lupa. ¿Y cómo reaccionó la gente en aquel entonces?

Inteligencia artificial. La sociedad reacciona más bien cuando ve una aplicación. Por ejemplo, en 1974 se desarrolló el sistema experto Mycin. Este sistema era capaz de diagnosticar trastornos en la sangre y recetar la correspondiente medicación, todo un logro en aquella época. Este logro causó un enorme impacto en la sociedad. Pero está claro que para que haya aplicaciones, primero debe desarrollarse la Ciencia Básica. Y ahí las Matemáticas juegan un papel crucial. Las personas deben concienciarse de esto. Por eso, te agradezco, Lupa, que no hayas realizado sólo este viaje, sino acompañado de nuestros lectores. Por cierto, se me olvidaba decirte: la Matemática Difusa es muy amiga mía.

Cantidad de Información. Cuánto has aprendido en este viaje, Lupa. Sí que has adquirido una gran cantidad de información. Deberás saber que la información es poder. Te voy a enseñar a protegerla. Para ello hay una disciplina denominada Criptología, que

contempla la transmisión de mensajes indescifrables para todo receptor que no disponga de una clave y/o del correspondiente algoritmo de descifrado. La idea de proteger unos datos, dándoles una forma que no pueda ser reconocida para impedir que alguien pueda utilizarlos con fines distintos de los previstos, no es reciente. En la antigüedad se utilizaban estos métodos, principalmente en tiempos de guerra, para evitar que el enemigo pudiera utilizar la información que captaba, y en tiempos de paz, en las frecuentes conspiraciones políticas. Te pongo un ejemplo, Lupa. Uno de los primeros métodos conocidos consistía en escribir el mensaje a cifrar en una larga tira enrollada en un bastón. De esta forma, si no se tenía un bastón del grosor adecuado era imposible leer el mensaje escrito en la tira. Con el paso de los años, los métodos de cifrado fueron sofisticándose y empezaron a utilizarse métodos que hacían corresponder las letras del alfabeto con símbolos de un cierto sistema de numeración. En definitiva, lo que tienes que hacer es codificar o encriptar la información, para almacenarla o transportarla. Posteriormente, cuando la quieras utilizar, la debes decodificar o desencriptar.

Pero Lupa hizo caso omiso a este último consejo. Él era un divulgador nato. Y su misión era precisamente decodificar la información y hacerla llegar a todas las gentes.

Cuando ya se disponía a abandonar la estación para regresar a su casa, Lupa vio un montón de gente en una sala. Iban a embarcarse en un viaje al que llamaban *tiempo*. A la entrada de la sala se podía leer: "IES Cangas del Narcea. Jornadas de Divulgación de la Ciencia y las Matemáticas". Sintió curiosidad y entró. Un tal Maxwell estaba pronunciando el discurso inaugural.

Maxwell. Los matemáticos pueden hacerse la ilusión de que poseen ideas nuevas que el simple lenguaje humano es todavía incapaz de expresar. Que hagan el esfuerzo de expresar esas ideas con palabras apropiadas, sin la ayuda de símbolos y, si lo logran, no sólo quedaremos nosotros, los profanos, en deuda permanente con ellos, sino que, nos atreveremos a decir, ellos mismos saldrán muy ilustrados del proceso e incluso dudarán de si las ideas expresadas en símbolos habían encontrado realmente alguna vez el camino desde las ecuaciones a sus mentes.

Lupa se sintió plenamente identificado con el mensaje de Maxwell. A él le gustaba investigar, aprender, pero también enseñar, llegar a todas las gentes. Lupa era

un divulgador nato. No entendía la investigación científica sin la divulgación. "Para recoger, hay que sembrar", decía con frecuencia Lupa.

Tras la ceremonia de bienvenida, en la sala empezaron a hablar de cosas muy raras: relatividad, pasado, viajes en el tiempo, ...

Lupa. Perdonen. Acabo de llegar de un viaje por el espacio. Podrían informarme de este viaje por el tiempo.

Tiempo. Dicen que hay tres tiempos. Pero realmente, el tiempo casi no existe. El pasado desde luego que no existe, porque ya pasó. El futuro tampoco existe, porque todavía no llegó. Y el presente es tan fugaz como un rayo. Casi no da tiempo a medirlo ni a definirlo.

Lupa. ¿Y qué es el presente?

Tiempo. Presente somos tú, yo, las Matemáticas, la Naturaleza, el lector, ..., reunidos en este preciso instante. Fíjate que aún en espacios diferentes, podemos coincidir unos momentos.

El anterior viaje, el viaje por la materia, había sido agotador y Lupa estaba exhausto. Así que decidió acercarse a un restaurante a reponer fuerzas. Allí se encontró con unos amigos. Aprovechó la ocasión para narrarles sus peripecias por los maravillosos horizontes que había podido contemplar. Llegó la hora de pagar. ¿A cuánto tocaban? "Echa tú las cuentas, Lupa, que para eso eres de Matemáticas", dijo uno de ellos. "Precisamente por eso no voy a echar la cuentas", gritó Lupa enfurecido.

Lupa. Las Matemáticas son algo más que un simple cálculo. Ya lo decía Galileo: "El libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático, cuyos caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales sería imposible entender una sola palabra, y se andaría siempre como en un laberinto oscuro".

Y tras pagar su correspondiente parte de la consumición, Lupa decidió irse a descansar un rato, antes de emprender una nueva aventura. Pero antes creía oportuno despedirse.

Lupa. Hasta luego, hasta siempre, hasta nunca, ... Uy, perdón, el tiempo no existe. ¿Cómo me despido? Ya lo tengo. Muchas gracias. Gracias, lector, por haber viajado conmigo hasta el final. Gracias a los que creen en estos viajes. Gracias a los que no les gusta viajar solos. Vaya dedicado a la Comisión de Divulgación de la Real Sociedad Matemática Española.