

Capítulo 3. La información

[Contacte](#) | [Inicio](#) | [Divulgación](#) | [Escenticismo](#) | [Avisos](#) | [Asignaturas](#)

¿Te interesa la temática de este capítulo?

Puedes acceder a más contenidos relacionados con la física en [Divulgación en Física](#).

Ya he leído, cierra la ventana

pulsa aquí para oírlo

Las imágenes en miniatura se pueden ver en tamaño ampliado pulsando sobre ellas, para salir pulsar en la esquina inferior derecha

3.1 Introducción

Información es una de las palabras más empleada en los entornos tecnológicos actuales tiene unos orígenes que en nada se parecen al significado actual. En latín *in-formare* era dar forma (ej.: *informare effigiem* significa hacer el retrato de persona u objeto), y también significaba dar forma mental, es decir hacerse una representación o concebir una idea a partir de algo.

En el siglo XVII ya aparece el término información en castellano, cuyo sentido era de averiguación legal (por ejemplo, de delitos), y hasta el siglo XIX no adquiere el significado de educación o instrucción. Como sucedía habitualmente, mientras tanto el francés llevaba la palabra hasta el inglés, donde se en el siglo XIV aparece con el significado de "*comunicación del conocimiento*". En el siglo XX muchas lenguas compartían ya la palabra en este último sentido.

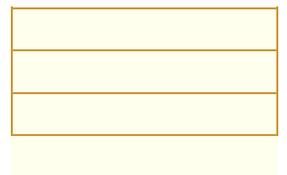
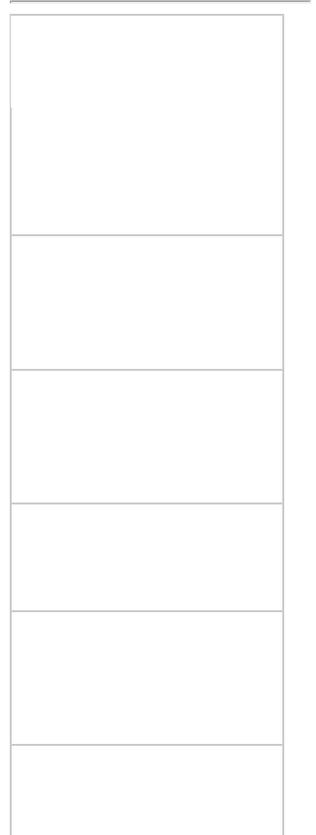
Bajo el término información consideramos cualquier conocimiento susceptible de ser transmitido. Sin embargo en los entornos tecnológicos información es algo estructurado: "*datos ya sea en la forma de números, gráficos o palabras que han sido organizados, sistematizados y presentados de modo que los patrones subyacentes queden claros*", según Bryan Pfaffenberger, en su obra "Diccionario para usuarios de computadoras e internet, México, 1998".

[R. W. Hamming](#) (1915-1998) ha calculado que, desde los tiempos del físico [Isaac Newton](#) (1642-1727), el acervo de conocimiento se viene duplicando aproximadamente cada 17 años, lo que equivale a decir que aumenta exponencialmente y se desglosa en miles de ramas especializadas. Aunque por ahora no parezca ser capaz de dar respuestas convincentes a sus preguntas fundamentales, el saber acumulado por los humanos alcanza unas cotas asombrosas de complejidad y ha transformado, sobre todo en los últimos 200 años, casi todos sus conceptos y formas de vivir, incluyendo sus relaciones con ellos mismos, con los demás seres vivos, con la naturaleza, hasta con el espacio y el tiempo.

Seguidamente se comentan algunos ejemplos de transmisión de la información en la naturaleza, casos de seres vivos que nos encontramos en la vida diaria.

Las abejas

Si ponemos un recipiente con un jarabe dulce en las proximidades de una colmena, en cuanto una abeja accede a él y lo prueba, pasa poco tiempo antes de que lleguen gran parte de las restantes de la misma colmena. De alguna forma, la primera en acudir ha transmitido la información sobre la



Los peces

En el año 1942, las falsas alarmas del sistema norteamericano de defensa de costas en el Atlántico, fueron la causa del descubrimiento de los sonidos que emiten unos peces, conocidos como tamborileros. Se estableció que "suenan" aproximadamente en el mismo rango que la voz humana, de 5000 a 10000 Hz (vibraciones por segundo). Unas especies emiten un chirrido, otras murmullos, otras golpes sueltos y así se pueden clasificar en muchos tipos.

Se realizó el siguiente experimento: en un acuario se introdujo un hidrófono y grabaron en cinta los sonidos producidos por los peces al masticar la comida, posteriormente reprodujeron estos sonidos en el acuario y los peces se acercaron al altavoz pensando que allí había comida.

Los sonidos no son la única forma de transmitir información por parte de los peces. Los que habitan en grandes profundidades, tienen su fuente de luz. Esta consiste en faroles biológicos con lentes, reflectores y hasta diafragmas, estos impulsos de luz pueden tener distintas frecuencias y diversas duraciones.

En África los peces de la familia mormíridos, que habitan en ríos turbios y agitados, emplean impulsos eléctricos para las comunicaciones. Estos peces tienen una especie de radares portátiles. Sus cuerpos son dipolos eléctricos, la cola tiene carga negativa y la cabeza positiva. Generando un campo eléctrico de una frecuencia dada, de forma que los objetos que se encuentran a su alrededor deforman el campo del dipolo, detectándolos de esta forma.

Las serpientes

Los zoólogos desde hace tiempo han comprobado que ciertas [serpientes venenosas](#), como por ejemplo el ancistrodon (conocida como mocasin), tienen cuatro fosas nasales, las complementarias forman dos agujeros profundos. En estos hoyos se ha descubierto una membrana que los divide en dos cámaras, y que está atravesada por un sinnúmero de terminaciones nerviosas, se ha comprobado que son termolocalizadores. Perciben la irradiación de calor, por lo que determinan la dirección hacia su origen.

Las serpientes tienen una vista muy débil, un olfato que casi no vale nada y un oído muy malo. Por eso durante el proceso de la evolución se desarrolló el sistema localizador de calor. Análogo a las cámaras de fotografiar que captan imágenes en la frecuencia del infrarrojo del espectro electromagnético.

El hombre

Según una hipótesis, nuestro antepasado común con los monos, dryopithecus, vivía en los árboles, se alimentaba de vegetales y bajaba con poca frecuencia a la tierra, pues era peligrosa para él. Millones de años vivió en un laberinto de ramas y su organismo se adaptó a esta forma de vida en los árboles. Estos saltos de rama en rama, exigían no sólo músculos, sino vista aguda, cálculo y orientación rápida. Los ojos que en la mayoría de los animales miraban en diferentes direcciones, comenzaban a aproximarse y a mirar hacia delante, se les creó la visión del volumen y del color. Se les complicó el cerebro y el sistema nervioso.

El intercambio de información en estos colectivos se supone que era elemental, contactos cariñosos o bruscos, mímica y gestos y cierta cantidad de sonidos inarticulados. Estos sonidos formaban de 10 a 15 combinaciones a las que condicionalmente llamaremos palabras.

El cambio de clima provocó que los dryopithecus bajaran a la tierra, tomando una posición casi vertical (así podían observar mejor el terreno) y

las extremidades delanteras se quedaron casi sin ocupación. La lucha por la existencia pronto les encontró empleo, armadas con una piedra o un palo se convirtieron en un recurso para conseguir alimentos y para defenderse. Lo demás lo hizo el trabajo. Se perfeccionó el cerebro y en respuesta el cerebro hizo más hábiles a las manos del hombre.

El trabajo era colectivo y por lo tanto exigía comunicación. Las muecas y sonidos inarticulados eran insuficientes, siendo reemplazados a lo largo de la evolución por la palabra oral y la escritura. Transición que duró muchos miles de años.

La población del mundo aumentaba rápidamente, formándose tribus y pueblos aislados, apareciendo la necesidad de la transmisión de la información a largas distancias. Para este propósito se han empleado muchos medios, corredores incansables, mensajeros a caballo, combinaciones de hogueras (indios), tambores gigantes, palomas mensajeras.

Llegó un momento en que esto era insuficiente, la vida exigía una transmisión de la información más rápida. La electricidad hizo la revolución, apareció el [telégrafo](#) por cable. El paso siguiente fue el invento del teléfono, en la exposición mundial de París miles de personas hacían cola para hablar a través de él con otros visitantes.

Atribuyen la invención del teléfono a un italiano

La Cámara de Representantes (Diputados) de los Estados Unidos decidió darle el crédito de la invención del teléfono, hasta ahora atribuida al estadounidense de origen escocés Alexander Graham Bell, al italiano Antonio Meucci.

"La vida y obra de Antonio Meucci deben obtener el justo reconocimiento, y su trabajo en la invención del teléfono debe serle atribuido", dice el texto, que fue aprobado por simple exclamación a partir de la propuesta de un legislador republicano de origen italiano, Vito Fosella, del estado de Nueva York. De este modo, los legisladores dieron por terminada una discusión histórica.

La resolución es una revancha póstuma para Meucci, un florentino que emigró primero a Cuba y luego a Estados Unidos. Meucci tiene en Staten Island, estado de Nueva York, un museo, el "Garibaldi-Meucci", que es una especie de templo de la italianidad neoyorquina.

Emily Gear, la directora del museo, dijo: "El teléfono lo inventó él, pero no tuvo suerte". Su historia, siguió, "refleja el drama de tantos inmigrantes todavía hoy, discriminados porque no pueden hablar la lengua del país que los hospeda".

Según sostiene la Sociedad Histórica Italiana en América, la fama y la fortuna le fueron vedadas a este inmigrante florentino porque no contó con los 250 dólares necesarios para patentar su invento.

Meucci descubrió los principios que guían el funcionamiento del teléfono en 1849 y desarrolló un aparato que funcionaba en 1859. En 1860 lo presentó en un diario local, escrito en italiano. Y el 28 de diciembre de 1871 dejó registrado su primer intento de solicitud provisoria, cinco años antes de que Bell llenara los papeles. Su patente temporaria N° 3.335 se venció al no

poder afrontar los costos del trámite.

El juicio que inició Meucci contra la Compañía Bell fundada por Alexander no llegó a buen puerto. Los papeles de su patente temporaria se perdieron misteriosamente.

Según la resolución que aprobaron los legisladores la semana pasada, la patente fue acordada a Bell, quien trabajaba en el laboratorio en el que Meucci había depositado su material.

Siguiendo el proceso por fraude, en 1887 las autoridades intentaron anular la patente entregada a Bell, pero en 1889 después de la muerte de Meucci, ocurrida en 1896 el caso fue cerrado.

Tampoco se conoció jamás quién fue el comprador del primer aparato creado por él, que vendió por 6 dólares cuando estaba necesitado. "Dejémosle a Meucci el honor de ser reconocido como "el Padre del Teléfono". Dejemos Bell que tenga el dinero", dijo John La Corte, presidente de Sociedad Histórica Italiana en América.

El paso siguiente fue la transmisión de señales sin el uso de cables, el siete de mayo de 1895 [Aleksandr Popov](#) (1859-1905) creó la radio. Pero surgió un problema, el espectro de ondas que pueden llevar la información a cualquier punto del planeta, las ondas cortas, sólo pueden transmitir pequeñas cantidades de información y además no en cualquier hora del día y tiempo del año. Mientras que las ondas ultracortas que transmiten gran cantidad de información, sólo se propagan dentro de los límites de la visión directa.

La solución al problema fueron los [satélites](#) artificiales de la Tierra. Con sólo tres satélites a una distancia de 36000 km y equidistantes entre sí se puede solucionar el problema de las comunicaciones (excepto las zonas muy próximas a los polos).

Cada día, cada uno de nosotros se ocupa de transmitir información por el tiempo, pero sólo en un sentido, del presente al futuro. Por ejemplo, si apuntamos un número de teléfono en una agenda, estamos transmitiendo esa información al futuro, esta transmisión durará el tiempo que exista la agenda. El periódico de hoy, que como es normal trae malas noticias, se convierte en un transmisor de datos al futuro. Si alguien dentro de 30 años, desea enterarse de lo que pasó hoy, podría encontrarlo en una hemeroteca. Por consiguiente, habiendo registrado la información, la ponemos en poder de un futuro, lejano o cercano, en dependencia del tipo de dispositivo de memoria que empleemos.

¿Es posible tener información del futuro, por ejemplo como vivirá la humanidad en el año 2040? Es posible una solución, mediante el estudio de tendencias del desarrollo de la humanidad en el pasado, suponiendo su validez para el futuro. A veces estas predicciones no son fiables.

Otra solución (no es real para los humanos, es una paradoja) es tripular una nave a velocidades próximas a la de la [luz](#). Según la teoría de [Albert Einstein](#) (1879-1955), la marcha del tiempo al aumentar la velocidad del movimiento se retrasa, mientras que en la Tierra todo seguirá a su ritmo habitual. Al regresar la nave espacial, se tendrá el planeta con cientos o miles de años transcurridos, por lo que no encontrará a sus familiares, aunque sobreviva el tripulante de la nave, pues todos sus procesos biológicos se habrán ralentizado. Por ahora sólo es una realidad la transmisión de información del pasado y del presente hacia el futuro.

El primer dispositivo de memoria fue el cerebro de los animales, que apareció en el proceso de evolución de muchos millones de años. Sobrevivía aquel que mejor recordaba el lugar donde se encontraban los peligros, los refugios, los alimentos.

El hombre gracias al trabajo comenzó rápidamente a perfeccionar su cerebro y por lo tanto su memoria. Existen estimaciones del volumen de la memoria humana, que la consideran superior a la información contenida en una gran biblioteca (que puede ser de 10^{13} bit). La velocidad de percepción de la información por el hombre no sobrepasa los 25 bit por segundo lo que equivale a una palabra por segundo. Si un individuo capta información durante 70 años, y diez horas diarias, no almacenará más de $3 \cdot 10^9$ bit.

El mito del diez por ciento

Alguien le robó la mayor parte del cerebro y usted probablemente no lo sabía. Bueno, no significa exactamente que le hayan quitado el cerebro, pero han decidido que Ud. no lo usa. Se trata del viejo mito, escuchado una y otra vez, que dice que la gente usa sólo el diez por ciento del cerebro.

Mientras que para aquellos que repiten ese mito esto probablemente sea verdad, los demás felizmente usamos todo el cerebro.

El mito y los medios

Ese remanido supuesto del diez por ciento aparece todo el tiempo. El año pasado, los avisos publicitarios de la revista nacional para la U.S. Satellite Broadcasting mostraban el dibujo de un cerebro. Debajo figuraba la leyenda: Ud. sólo usa el 11 por ciento de su potencial. Bien, estuvieron más cerca que el mito del diez por ciento, pero todavía les faltó un 89. En julio de 1998, la cadena de televisión ABC emitió unos spots promocionales del programa The Secret Lives of Men (Las vidas secretas de los hombres), para la temporada de otoño. El spot consistía en una propaganda en la que se podía leer, Los hombres sólo usan el diez por ciento del cerebro ocupando toda la pantalla.

Una de las razones por las cuales este mito ha permanecido, es que ha sido adoptado por videntes y otros integrantes del mundo paranormal para explicar los poderes parapsíquicos. En más de una ocasión he escuchado a videntes que le dicen a la audiencia Solamente usamos el 10 por ciento de la mente. Si los científicos no saben lo que hacemos con el 90 por ciento restante, ¿entonces debemos estar usándolo para los poderes parapsíquicos! En Reason To Believe: A Practical Guide to Psychic Phenomena (Razón para creer: guía práctica para los fenómenos parapsíquicos), el autor Michael Clark menciona a un hombre llamado Craig Karges. Karges cobra un montón de dinero por su programa Intuitive Edge (Al filo de la intuición), el cual está diseñado para desarrollar habilidades parapsíquicas naturales. Clark cita a Karges diciendo: Normalmente utilizamos sólo del 10 al 20 por ciento de la mente. Piense cuán diferente sería su vida si Ud. pudiera usar ese otro 80 ó 90 por ciento, que conocemos con el nombre de mente subconsciente (Clark 1997, 56).

También ésta fue la razón que dio Caroline Myss intentando explicar sus poderes intuitivos en una sección de Eye to Eye with Bryant Gumbel (Ojo a ojo con Bryant Gumbel, o Frente a frente con Bryant Gumbel), que se emitió en julio de 1998. Myss, que ha escrito libros sobre el desarrollo de los poderes intuitivos, dijo que todo el mundo tiene dones intuitivos, y lamentó que usáramos tan poquito del potencial de la mente. Para empeorar las cosas, apenas una semana antes, en el mismo programa, se había presentado información correcta acerca del mito. Entre el programa y la publicidad, aparecía en pantalla un spot con una breve encuesta: ¿Qué porcentaje del cerebro usamos? Las respuestas, tipo multiple-choice (de elección múltiple) iban desde el 10 hasta el 100 por ciento. Apareció la respuesta correcta, lo cual me alegró. Pero si los productores sabían que lo que había dicho una de las entrevistadas era clara y manifiestamente erróneo, ¿por qué permitieron que saliera al aire? ¿El cerebro derecho no sabe lo que está haciendo el cerebro izquierdo? Tal vez la entrevista a Myss era una repetición, en cuyo caso los productores presumiblemente chequearon los hechos después de que se emitió al aire y sintieron la responsabilidad de corregir el error en la emisión de la semana siguiente. O posiblemente las emisiones se difundieron en secuencia y los productores simplemente no se preocuparon y emitieron a Myss y a su desinformación de todos modos.

Incluso Uri Geller, quien construyó su carrera tratando de convencer a la gente de que podía doblar metales con la mente, salió al ruedo con esta perla. Esto aparece en la introducción de su libro Uri Gellers Mind-Power Book (El libro de los poderes mentales de Uri Geller): Nuestras mentes son capaces de proezas notables, increíbles, y todavía no las utilizamos en su plenitud. De hecho, la mayoría de nosotros usamos sólo cerca del 10 por ciento del cerebro, con suerte. El otro 90 por ciento está lleno de habilidades y potenciales aún no descubiertas, lo cual significa que nuestras mentes operan en forma muy limitada en lugar de funcionar a pleno. Creo que alguna vez tuvimos pleno poder sobre nuestra mente. Lo hacíamos para sobrevivir, pero a medida que el mundo se sofisticó y se hizo más complejo nos olvidamos de muchas habilidades que alguna vez tuvimos (énfasis en el original).

Evidencia en contra del mito del diez por ciento

El argumento que dice que los poderes parapsíquicos provienen de la vasta parte del cerebro no utilizada se basa en la falacia lógica del argumento por ignorancia. En esta falacia, la falta de pruebas para sostener una posición (o simplemente la falta de información) se usa para tratar de apoyar una suposición determinada. Aunque fuera cierto que la mayor parte del cerebro humano no se usa (lo cual no es cierto), eso de ninguna manera implica que haya alguna capacidad extra que pueda darle a la gente poderes parapsíquicos. Esta falacia surge constantemente en las afirmaciones paranormales, y prevalece especialmente entre los partidarios de los OVNI. Por ejemplo: dos personas ven una extraña luz en el cielo. El primero, un creyente en los

OVNI, dice, ¡Mira allí! ¿Puedes explicar eso? El escéptico contesta que no, que no puede. El creyente en los OVNI se regocija. ¡Ja! ¡No sabes lo que es, por lo tanto debe tratarse de extraterrestres! dice, argumentando desde la ignorancia.

Lo que sigue son dos de las razones por las cuales el mito del diez por ciento resulta sospechoso. (Para un análisis más extenso y detallado del tema, véase el capítulo de Barry Beyerstein en el nuevo libro *Mind Myths: Exploring Everyday Mysteries of the Mind*, 1999 [Mitos de la mente: explorando los misterios cotidianos de la mente]).

1) Las técnicas de investigación por imágenes tales como los PET (Tomografía por emisión de positrones) y la FMRI (resonancia magnética funcional por imágenes) muestran claramente que la mayor parte del cerebro no permanece inactiva. En verdad, aunque ciertas funciones menores pueden utilizar sólo una pequeña parte del cerebro en un momento determinado, cualquier conjunto de actividades o patrones de pensamiento complejos usarán muchas partes del mismo. Así como una persona no utiliza todos los músculos a la vez, tampoco utilizan todo el cerebro a la vez. Para ciertas actividades, tales como comer, mirar televisión, o leer *The Skeptical Inquirer*, usted puede usar unas pocas partes específicas del cerebro. Sin embargo, en el transcurso del día se utilizarán casi todas las partes del cerebro.

2) El mito presupone una localización extrema de las funciones cerebrales. Si las partes usadas o necesarias estuvieran dispersas por todo el órgano, esto implicaría que de hecho se necesita gran parte del cerebro. Pero el mito implica que la parte utilizada del cerebro es un área discreta, limitada, y la parte no utilizada es como un apéndice o amígdala, que ocupa espacio pero es esencialmente innecesaria. Pero si todas esas partes del cerebro no se usan, el hecho de remover o dañar las partes no usadas no conllevaría grandes efectos o ni siquiera se notaría. Sin embargo las personas que han sufrido traumas cerebrales, un infarto, u otro daño cerebral, frecuentemente se encuentran severamente impedidos. ¿Ha escuchado Ud. a algún médico decir, afortunadamente cuando la bala penetró en el cráneo, solamente dañó el 90 por ciento del cerebro, que no usaba? Por supuesto que no.

Variantes del mito del diez por ciento

El mito no es simplemente algo estático o un malentendido. Tiene diversas formas, y su adaptabilidad le da una vida más prolongada que la que tiene un spam laqueado. En su versión básica el mito afirma que años atrás un científico descubrió que nosotros utilizamos verdaderamente sólo el 10 por ciento del cerebro. Otra variante se refiere a que sólo el 10 por ciento del cerebro ha sido mapeado, y que esto se malinterpretó mapeado por usado. Antes, Craig Karges había presentado una tercera variante. Ésta dice que, de alguna manera, el cerebro se encuentra ingeniosamente dividido en dos partes: la mente consciente que se usa del 10 al 20 por ciento del tiempo (presumiblemente a plena capacidad); y la mente subconsciente, en donde el restante 80 ó 90 por

ciento del cerebro permanece inutilizado. Esta descripción revela un profundo malentendido de la investigación de las funciones cerebrales.

La larga vida del mito se debe en parte a que si una variante resulta incorrecta, la persona que cree en ella puede simplemente cambiar la razón de su creencia y apoyarse en otra base, mientras la creencia misma permanece intacta. Así, por ejemplo, si a un individuo se le muestra un examen PET en donde se observa actividad en todo el cerebro, todavía puede seguir argumentando que lo del 90 por ciento se refiere a la mente subconsciente, y por lo tanto la figura del mito queda a salvo.

Independientemente de la variante, el mito se repite y se expande, sea por gente bien intencionada o por aquellos que mienten deliberadamente. La creencia que permanece es, entonces, lo que Robert J. Samuelson denominó un psico-hecho (psycho-fact), una creencia que, a pesar de no estar sólidamente basada en los hechos, se toma como real porque su constante repetición cambia la manera en que experimentamos lo que vivimos. El lego va a repetirlo una y otra vez hasta que, tal como sucede con la advertencia de no tirarse al agua después de comer, termine por convertirse en una creencia ampliamente difundida. (Triumph of the Psycho-Fact, Newsweek, May 9, 1994.)

Los orígenes del mito no son del todo claros. Beyerstein, del Laboratorio de comportamiento cerebral de la Universidad Simon Fraser en British Columbia, lo ha rastreado hasta principios del siglo veinte. En una reciente columna de la revista New Scientist también se sugirieron otras fuentes, incluyendo a Albert Einstein y Dale Carnegie (Brain Drain 1999). Probablemente tenga un sinnúmero de fuentes, principalmente la malinterpretación o malentendido de los hallazgos científicos legítimos así como los gurúes de autoayuda.

El más poderoso atractivo del mito es probablemente la idea de que podemos desarrollar poderes parapsíquicos o al menos lograr ventajas competitivas tales como mejorar la memoria y la concentración. Todo esto se encuentra a nuestra disposición, como dicen los avisos, si aprovechamos el más poderoso de nuestros órganos, el cerebro.

Ya es tiempo de desechar este mito, aunque si ha sobrevivido casi un siglo, seguramente continuará vivo en el próximo milenio. Quizá la mejor manera de combatirlo sea contestar a nuestro interlocutor, cuando lo mencione, Ah, ¿y qué parte no usas?

Benjamin Radford

The Skeptical Inquirer, March-April 1999

Traducción de Alejandro Borgo. Benjamin Radford es Jefe de Edición de la revista The Skeptical Inquirer y es graduado en psicología.

Agradecimientos

Estoy en deuda con el Dr. Barry Beyerstein por sus sugerencias y ayuda en la investigación.

Referencias

Beyerstein, Barry. 1999. Whence cometh the myth that we only use ten percent of our brains? In *Mind-myths: Exploring Everyday Mysteries of the Mind and Brain*, edited by Sergio Della Sala. New York: John Wiley and Sons.

Brain Drain. 1999. The Last Word (column). *New Scientist* 19/26 December 1998-2 January 1999.

Clark, Michael. 1997. *Reason to Believe*. New York: Avon Books.

Geller, Uri, and Jane Struthers. 1996. *Uri Gellers Mind-power Book*. London: Virgin Books.

Fuente: [Sin dioses](#)

El siguiente vídeo trata sobre el asunto del mito del 10% del cerebro, por parte del profesor Carlos J. Álvarez, psicólogo de la Universidad de La Laguna. (Fuente: [Magonia](#))

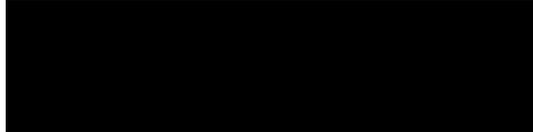
A pesar de la perfección de la memoria humana, esta tiene defectos, el principal es que su contenido no se transmite por vía biológica a los descendientes, sino que se destruye al morir las células del encéfalo. Otro defecto es que no siempre se consigue en el momento necesario reproducir y emplear la información previamente memorizada.

Los humanos hablaron durante unos doscientos mil años antes de que plasmaran sus ideas para la posteridad. Cuando los habitantes de Mesopotamia, conocidos como sumerios, rasparon unos símbolos sobre unas tablas de arcilla hace 5000 años, sin saberlo iniciaron una nueva era de la humanidad, lo que conocemos como historia. La presencia de fuentes escritas denota la línea técnica divisoria entre lo que los expertos clasifican como prehistoria. La escritura apareció casi al mismo tiempo en diversos lugares, y por las mismas razones, fue creada cuando las civilizaciones comenzaron a crecer lo suficiente como para querer llevar un control del concepto que comenzó a tomar importancia con las sociedades sedentarias,

agricultoras, el concepto de la propiedad.

Nuestros antepasados lejanos para superar estos defectos emplearon unos dispositivos de memoria muy simples, cortaban ramas, amontonaban piedras, hacían cortes en los árboles. La lucha por la existencia les obligó a encontrar métodos más perfectos. Los indios empleaban conchas de colores, los incas cartas de nudos llamadas [quipos](#). Aparecieron los petroglifos, signos e imágenes grabados en las piedras.

En el cuarto milenio antes de nuestra era aparecieron las escrituras del antiguo Egipto, los jeroglíficos. Otros dispositivos de memoria fueron placas de arcilla, pieles, papiro, pergamino, cortezas de abedul y posteriormente el papel.



Jeroglífico

El paso siguiente fue el invento de la [imprenta](#) por el alemán [Johannes Gutenberg](#) (1398-1468). A su ayuda llegó la fotografía y más recientemente el cine. Más tarde se inventaron dispositivos para grabar y reproducir los sonidos. Al principio era un sencillísimo fonógrafo, siendo desplazado por el magnetófono y sus posteriores versiones actuales.

La aparición de los ordenadores exigió la creación de dispositivos de memoria de elevadas capacidades, que han ido evolucionando con el tiempo: tarjetas perforadas, relés electromagnéticos, núcleos de ferrita, discos magnéticos, memorias de semiconductores, discos ópticos, memorias holográficas y experimentalmente memorias de bacterias y de nanotubos. Sin embargo actualmente no se han logrado memorias del tipo de la humana, tanto por su arquitectura como por su capacidad.

3.2 Las ondas, portadoras de la información

La primera posibilidad del hombre de transmitir la información aparece junto con el primer grito que da al nacer, después empleamos este medio toda la vida.

Hay quien piensa que cualquier información de por sí misma tiene la propiedad de pasar por el espacio sin ayuda de algún portador que circule. El sonido viaja por el espacio debido a las oscilaciones del aire. El que habla, con sus cuerdas vocales hace oscilar el aire, que transmite esta información a las siguientes capas de aire y así sucesivamente, si creamos un vacío alrededor de un orador, por ejemplo de los que leen monótonamente una conferencia, ya no se le oirá, y el auditorio podrá dedicarse a dormir.

Aproximadamente lo mismo ocurre al difundir cualquier información en el espacio. Un barco que pasa lejos se detecta en la orilla por las olas que llegan, las han traído las oscilaciones de las partículas de agua.

La información se transmite en el espacio solamente con la ayuda de un proceso que se propague en el espacio. A este proceso oscilatorio móvil lo llamamos ondulatorio. En función del medio ambiente oscilante, las ondas pueden ser de mar, de sonido, de radio, etc. Estas ondas son los mensajeros que difunden la información por el espacio, hay algunas que van a la máxima velocidad posible, la velocidad de la luz, mientras que

otras transmiten la información muy despacio, como por ejemplo las ondas en los líquidos viscosos. Este movimiento ondulatorio aparece en casi todas las ramas de la Física.

El movimiento de una onda únicamente depende del tipo de onda y del material a través del cual se propaga, pero no depende del movimiento del cuerpo que provoca la onda. Cuando una fuente emisora lleva una velocidad mayor que la velocidad de la onda se produce una onda de choque (utilizadas para desintegrar cálculos renales con equipos de litotricia), como por ejemplo los estampidos sónicos de los aviones y la radiación de Vavilov-[Cherenkov](#). Una onda de choque transporta toda la energía ondulatoria emitida a lo largo de la trayectoria del movimiento de la fuente en un estallido violento.

Supongamos un muelle metálico muy largo (el juguete conocido en EE.UU como "slinky") y lo ponemos de lado a lado de una habitación. Entonces agrupamos con la mano unas cuantas espiras, cerca de uno de los extremos del muelle.

Este grupo de espiras comprimidas parece moverse como un rizo hacia el otro lado del muelle. Viaja de esta forma hasta el extremo más alejado, una vez allí parece rebotar y vuelve al punto en el que se inició el proceso. Este proceso se repite sucesivas veces, pero la región comprimida se hace más ancha y su contorno menos definido. Al final es difícil reconocer esta región. El movimiento se ha extendido a todo el muelle y se observa un temblor y una agitación general, al final el muelle permanece en reposo. Cualquiera que efectúe el proceso antes descrito con el muelle debe de comprobar que algo se mueve hacia delante y atrás en el muelle. Sin embargo ni un solo trozo de metal se ha desplazado más de unos pocos centímetros de su posición inicial. ¿Qué fue lo que se movió a través de la habitación?

Lo que se movió fue la silueta de espiras del muelle, la región en donde estas espiras estaban más juntas de lo normal. Cualquier silueta o forma que se desplace se puede llamar una onda.



Ondas

Podemos ser más precisos y definir como perturbación cualquier distribución de las partes de un sistema que sea diferente de su condición de reposo natural. Una onda física es una perturbación que se mueve debido al efecto que las partes del sistema ejercen entre sí.

Una onda se puede utilizar para enviar información. Supongamos que apagamos las luces, y que en cada extremo del muelle se pone una persona. Las señales se envían mediante la contracción de espiras en un extremo, notándose en el otro extremo la región comprimida. Una vez finalizado el movimiento se puede enviar otra señal. Para enviar mensajes largos se puede utilizar un código semejante al Morse.

La onda que se enviaba a través del muelle, se producía comprimiendo algunas espiras del muelle. Las ondas en las que la perturbación coincide con la dirección del movimiento se conocen como ondas longitudinales o de compresión. Sin embargo las conocidas como ondas transversales, la

perturbación forma un ángulo recto con la dirección de propagación de la onda. Las ondas sonoras son longitudinales, mientras que las que se producen en la superficie del agua son en su mayor parte transversales. Las ondas luminosas son transversales.

Hasta el momento se han comentado ondas en las que la perturbación inicial dura muy poco tiempo, y en las que la perturbación no se volvía a repetir. Se conocen como pulsos. Cuando una perturbación que produce la onda se repite a intervalos regulares de tiempo, se tiene un tren de ondas. Por ejemplo, al cantar se produce un tren de ondas sonoras. Los trenes de ondas difieren entre sí en la rapidez con que se repiten los pulsos. El tiempo transcurrido entre la repetición de los pulsos recibe el nombre de período, que se representa por T . La frecuencia es el número de repeticiones por segundo y se representa por la letra f .

La relación entre la frecuencia y el período de un tren de ondas regular es muy simple. El producto de la frecuencia por el período es siempre igual a uno. El producto de la longitud de onda por la frecuencia es igual a la velocidad de propagación de la onda. La unidad de frecuencia es el Hercio (Hz), que corresponde a un ciclo por segundo.

Una forma de crear un tren de ondas sonoras es dar palmadas rítmicamente. Cada palmada envía un pulso sonoro. Al dar palmadas sucesivas se crea un tren de ondas. Si entre cada una transcurre un segundo, el período será de un segundo y la frecuencia un Hercio. Al dar la segunda palmada, el pulso sonoro producido por la primera se habrá desplazado una distancia considerable, si la velocidad del sonido es de 350 m/s, el primer pulso lleva un adelanto de 350 m respecto al siguiente. Si se da una palmada cada segundo, se produce un tren de pulsos sonoros espaciados 350 m entre sí.

La longitud de onda es la distancia entre dos pulsos consecutivos, por lo que en este caso la longitud de onda será de 350 m. Si se dan dos palmadas por segundo, la longitud de onda será de 175 m. Entonces se llega a la conclusión de que el producto de la longitud de onda por la frecuencia de cualquier tren de ondas es igual a la velocidad de propagación de la onda.

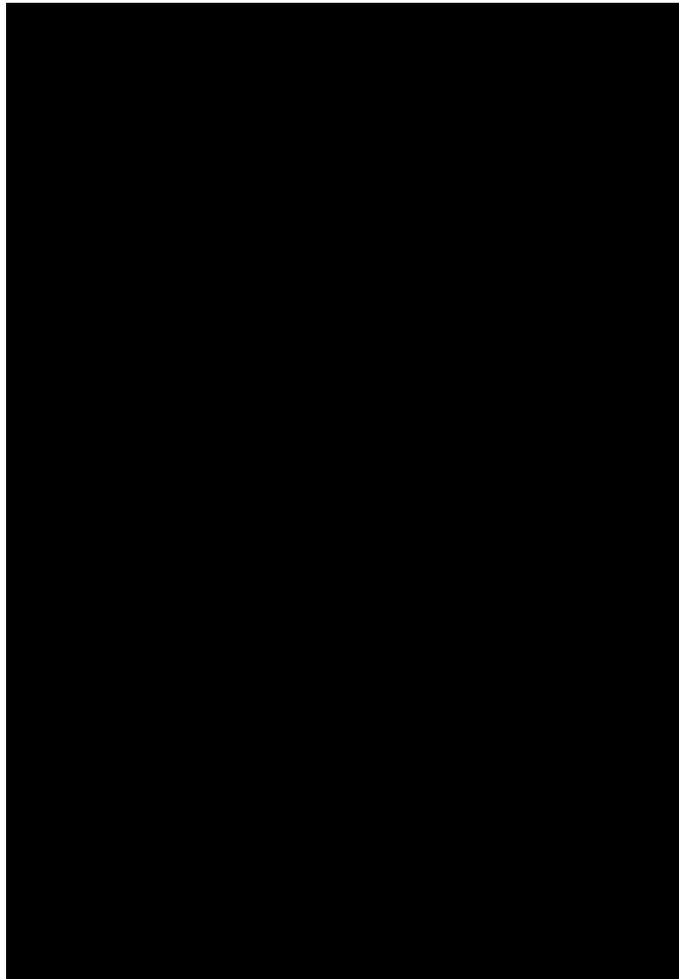
El efecto Doppler

En una autopista, si estamos parados, es habitual oír el sonido de los vehículos que circulan por ella, procedentes de los ruidos de los motores. Es fácil advertir la variación del sonido cuando nos adelanta otro vehículo. Es obvio que la mayoría de los vehículos no disminuyen su velocidad al sobrepasarnos. El tono varía en función de la trayectoria seguida hasta llegar a nuestros oídos. Este desplazamiento de la frecuencia se llama efecto Doppler, denominado así por el austríaco [Christian Doppler](#) (1803-1853), muy utilizado en diversos campos, por ejemplo en los radares de control de velocidad en vías de comunicación, astronomía y medicina (ecografías abdominales, patologías del sistema circulatorio, patologías testiculares).

Este efecto se debe al cambio de frecuencia de una onda, debido al movimiento de la fuente que emite las ondas, o al del observador que recibe la energía de la onda.

Si se considera un coche desplazándose a la velocidad de 35 m/s, y cuyo conductor hace sonar el claxon cada segundo, al pitar por segunda vez, el

pulso primero se ha desplazado 350 m (la velocidad del sonido), pero durante este tiempo el coche se ha desplazado 35 m desde el lugar de partida. Los dos pulsos mantendrán una distancia de 315 m entre sí. Un observador alejado recibirá más de un pulso por segundo. La distancia de cada pulso es 315 m y la velocidad en el aire es 350 m/s. El tiempo transcurrido desde que el observador escucha un pulso sonoro y el siguiente es $315/350$ ó 0.9 s. Si el claxon continúa pitando se pueden llegar a oír diez pitidos en nueve segundos. En general se puede decir que: un observador situado frente a una fuente sonora en movimiento recibirá los pulsos sonoros con una frecuencia mayor que la emitida por la fuente. En caso de alejamiento la frecuencia será más baja.



Si

estamos al aire libre y alguien nos llama desde lejos, normalmente es posible distinguir la dirección en que nos llega el sonido. Esto nos indica que se propaga en línea recta. Por otra parte, si alguien sale de la habitación en que nos encontramos y nos llama desde el pasillo, seguimos escuchando su voz. Entre ambos puede haber una pared que nos sirva de pantalla para las ondas sonoras. El sonido es capaz de encontrar un camino a través de la puerta abierta y alcanzar nuestros oídos; en este caso su trayectoria no es una línea recta. Esto indica que las ondas sonoras pueden bordear obstáculos. Se conoce como difracción el proceso mediante el cual las ondas vencen obstáculos. En cualquier caso la magnitud de la difracción depende de la relación existente entre el tamaño de los obstáculos y la longitud de onda de la onda.

Cuando las ondas encuentran en su camino obstáculos del mismo tamaño o más pequeños que su longitud de onda, tienden a bordear el obstáculo.

Una onda electromagnética es un conjunto de voltajes en el espacio, que se mueve con el tiempo. La teoría básica de la electricidad y el magnetismo, (para quien no conozca los conceptos básicos de las magnitudes más habituales en electricidad se indican en el siguiente [enlace](#)) debida a [James Clerk Maxwell](#) (1831-1879), indica que para crear ondas electromagnéticas se han de acelerar cargas eléctricas. Una vez

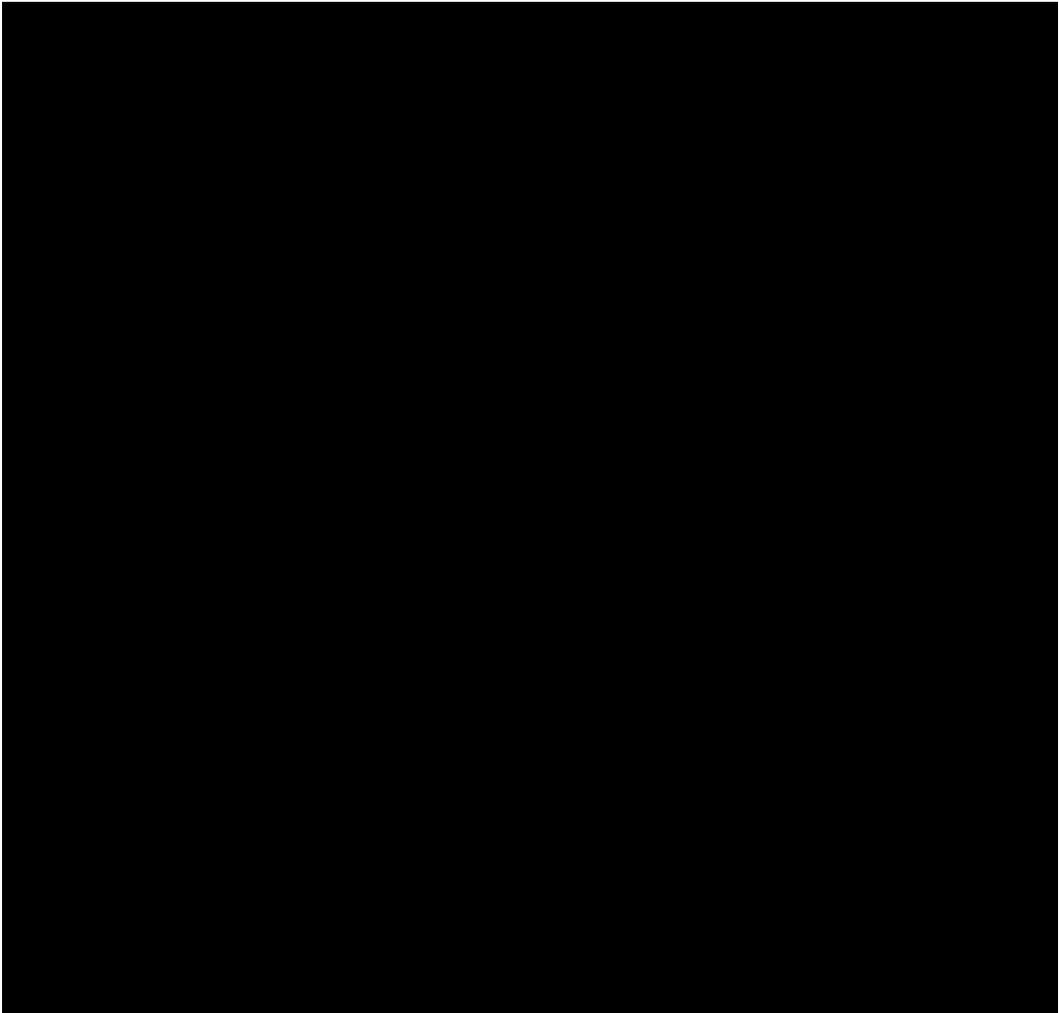
formadas, esta teoría también predice su comportamiento. Se propagan en el espacio libre con la velocidad de 300000 km/s, y en otros materiales a velocidades inferiores.

Las ondas electromagnéticas se pueden detectar debido a la energía que transportan. Estos detectores pueden ser muy variados, como por ejemplo los electrones que se encuentran en la antena de un coche, o bien las cargas eléctricas que poseen los átomos de la retina de nuestros ojos.

El espectro de ondas electromagnéticas es muy amplio, varía desde las ondas de radio, de muy baja frecuencia, hasta rayos gamma, cuya longitud de onda es más pequeña que el núcleo de un átomo.

Una representación esquemática y animada muy buena del espectro electromagnético se encuentra en: [Atlas del espacio electromagnético](#)

Longitud de onda		Frecuencia
780 nm	INFRARROJO	$3,8 \times 10^{14}$ Hz
	rojo	
620 nm	rojo-anaranjado	
	naranja	
560 nm	amarillo	Máxima sensibil visión fotópica
	amarillo-verdoso	
480 nm	verde	Máxima sensibil visión escotópica
	turquesa	
	azul	
430 nm	añil	
380 nm	violeta	$7,8 \times 10^{14}$ Hz
	ULTRAVIOLETA	



La longitud de onda es la característica fundamental de estas ondas. Un sistema eficaz para detectar o producir estas ondas debe ser un dispositivo del mismo tamaño que la longitud de onda de las ondas que se quieren producir o detectar. Por ejemplo, una antena de radio es demasiado grande para generar ondas de luz visible, los átomos de nuestros ojos son demasiado pequeños para detectar ondas de radio.

Se ha de considerar que las radiaciones más energéticas son ionizantes y por lo tanto susceptibles de generar cáncer, dentro de este grupo se encuentran los Rayos X o Roentgen, [Rayos Gamma](#) y parte del espectro de la radiación ultravioleta (UV). Contrariamente a las afirmaciones alarmistas e injustificadas de grupos "ecólatras", los teléfonos móviles y sistemas de internet mediante Wifi no son perjudiciales para la salud, pues su rango de frecuencias cae dentro del grupo de las no ionizantes. El informe [Moulder](#) es muy completo y aclaratorio sobre el asunto.

Joseba Zubia, físico de la UPV, habla de Ondas electromagnéticas y salud. (Fuente [Magonia](#))

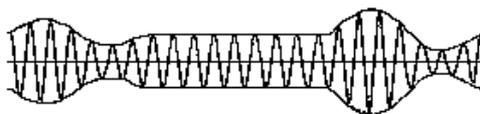
Ondas de radio AM y FM. Una señal de radio que transmite siempre la misma onda no transporta mucha información. Pero al menos informa al receptor de que la estación que envía la señal está en funcionamiento. Para obtener más información, hay que variar y comprender la señal que se detecta. Es el proceso denominado modulación.

El tipo de modulación más simple consiste en variar la duración de los intervalos de tiempo entre señales. Puede transmitirse una secuencia de trenes de ondas más largos o más cortos mediante el código morse o algún otro conocido. A principios del siglo XX la primera utilidad de las señales electromagnéticas fue el envío de mensajes telegráficos a través del océano para grandes distancias.

Es muy fácil variar gradualmente la intensidad de la señal desde su valor máximo al mínimo, a lo largo de muchos ciclos de la onda repetitiva elemental, este método se conoce como modulación de la amplitud (AM).

Un parámetro importante es el porcentaje de modulación, que indica la amplitud mínima o nivel cero de la onda modulada. Una modulación al 100% indica que la amplitud mínima será cero. Se puede demostrar matemáticamente que la onda modulada final se puede descomponer en tres señales: una de frecuencia igual a la portadora y otras resultado de sumar y restar la frecuencia de la moduladora a la de la portadora. Es decir, si tuviéramos una portadora de 500 KHz y la onda moduladora posee una frecuencia máxima de 20 KHz (como las señales musicales) obtendremos tres ondas: una de 500 KHz y dos bandas laterales de 480 KHz y 520 KHz.

Esto es importante para saber el ancho de banda que ocupa la transmisión (en este caso $20+20=40$ KHz).



Con este sistema pueden aparecer algunos problemas, la intensidad de la señal puede variar por razones distintas a las de la modulación que provoca la emisora, las cargas de la atmósfera pueden crear efectos no deseados. Esto provoca distorsión y ruido en el receptor.

Para evitar el problema previo, se utilizan ondas de frecuencia modulada (FM), muy popular en la actualidad. En este sistema la onda que transporta la información no posee una frecuencia única. Su frecuencia varía en

función de la intensidad de la señal de modulación. Para descifrar estas señales hace falta un circuito más complicado que las de AM, pero la distorsión atmosférica afecta poco en la transmisión, por lo que la calidad de recepción es mucho mejor.

Supongamos que tenemos una señal moduladora cuya máxima amplitud es de 1V (valor de pico) y una onda portadora de 1000 KHz. Si suponemos que para este valor de amplitud la frecuencia de la portadora se desvía 15 KHz (simétricamente, es decir +15 KHz y -15 KHz), conforme oscile la señal moduladora la frecuencia de la portadora oscilará entre 985 KHz y 1015 KHz, ocupando un ancho de banda de 30 KHz.



En este sistema de modulación también tenemos un problema práctico, y es que rara vez el ancho de banda de la transmisión es inferior a diez veces el de la señal moduladora.

Internacionalmente se han dividido todo el espectro de frecuencia en las denominadas bandas de frecuencia. Esto se hace así para poder delimitar el acceso de los usuarios a estas bandas. Hay que mencionar que esta clasificación no es global y que algunos países difieren en su delimitación, pero en general podemos aceptarlas como generales.

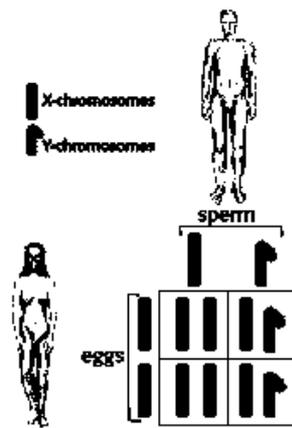
Denominación	Siglas	Margen de frecuencias
Frecuencias muy bajas	VLF	3 - 30 KHz
Frecuencias bajas	LF	30 - 300 KHz
Frecuencias medias	MF	300 - 3000 KHz
Frecuencias altas	HF	3 - 30 MHz
Frecuencias muy altas	VHF	30 - 300 MHz
Frecuencias ultra altas	UHF	300 - 3000 MHz
Frecuencias super altas	SHF	3 - 30 GHz
Frecuencias extra altas	EHF	30 - 300 GHz

Las bandas de frecuencia más baja se reservan para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten sobre los 100 MHz. La única banda que está libre para cualquier uso (como radiocontrol) y para cualquier persona es la banda de los 27 MHz, pero debido a esto está bastante saturada y sólo es conveniente utilizarla para practicar con montajes caseros y sistemas de poco alcance (no más de 100m).

3.3 La información como magnitud fundamental

La información nos sale al paso en cualquier momento, ya sea en sistemas técnicos como en los naturales: en la elaboración de datos, en la tecnología de las comunicaciones y en la de regulación, en las lenguas naturales, en los sistemas de comunicación biológicos, incluso en la transmisión de informaciones en la célula viva. La información se ha convertido, pues, en la tercera magnitud básica universal. Debido al enorme desarrollo realizado por la tecnología de ordenadores, el sector de la informática ha alcanzado una importancia que era escasamente predecible. Además la palabra información se ha convertido en una expresión aplicable a las más diversas disciplinas. Alcanzando al mismo tiempo una importancia esencial en los sectores más dispersos como por ejemplo, la

técnica, la biología y la lingüística. Por lo tanto el concepto de información requiere un tratamiento profundo, especialmente en el sentido de precisar su significado, definir sus características más primordiales y formular teoremas.



Algunos ejemplos de la vida real:

Un organismo vivo recibe toda la información hereditaria de sus progenitores. El catálogo entero de detalles de una futura persona está "embalado" en un volumen increíblemente pequeño, en un óvulo, cuyo diámetro es tan sólo de una décima parte de milímetro.

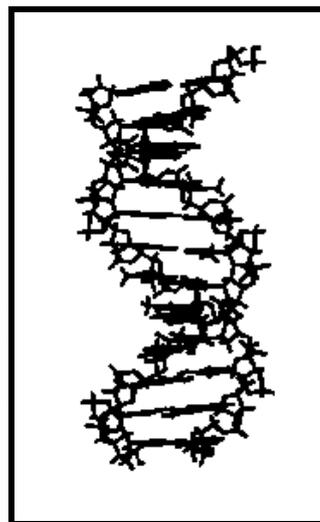
Todo lo vivo está compuesto de células, cuyo elemento básico es el núcleo, donde se encuentra la información hereditaria.

Cualquier ser vivo nace como resultado de la reproducción de muchísimas copias de una célula inicial fecundada, proceso que se desarrolla a gran velocidad, se puede tener una idea considerando que a partir de la célula inicial se llegan a $26 \cdot 10^{12}$ células en un recién nacido.

Los núcleos de todas las células contienen los denominados cromosomas, en número constante para cada especie, el hombre 46, el mosquito zumbador 6, la carpa 104 y el chimpancé 48. En los cromosomas están las moléculas de ácido desoxirribonucleico (DNA o ADN), descubierto 1869 por el médico alemán Friedrich Miescher (1844-1895), al que la evolución ha confiado la misión de ser el portador de la información genética puesto que tiene gran capacidad para duplicarse.

El ADN está formado por los nucleótidos, y cada uno de ellos consta de moléculas de azúcar desoxirribosa (D), de un grupo fosfato (F) y de una de las cuatro bases nitrosas: adenina (A), timina (T), citosina (C) o guanina (G). Dos cadenas de ADN se unen en una espiral doble como si se enrollasen la una en la otra, las bases nitrosas se encuentran en el espacio interior entre las espiras y están unidas entre sí con enlaces de hidrógeno. La Adenina siempre hace pareja con la timina y la guanina con la citosina. El número de nucleótidos en la molécula de ADN es de muchos miles.

El mecanismo de duplicación del ADN, se puede describir de la siguiente forma. Los enlaces de hidrógeno que unen las dos espirales de ADN se desgarran al dividirse las células. La espiral doble se desenrolla, y en cada espiral separada, inmediatamente se construye otra nueva, complementaria. En lugar de una se han formado dos nuevas espirales dobles de moléculas de ADN absolutamente idénticas a la inicial, y así sucesivamente. De esta forma se transmite la información.



Las moléculas de ADN constituyen la mayor densidad de información conocida, El tamaño es de 2 nm de diámetro y 3.4 nm de altura por cada espira de la hélice. Lo cual implica un volumen de $10.68 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3$ por espira. En cada espira se encuentran 10 letras del alfabeto químico (nucleótidos) resultando una densidad de información de $0.94 \cdot 10^{21}$ letras por cm^3 . No obstante en el alfabeto genético existen sólo cuatro bases nucleótidos: adenina, timina, guanidina y citosina. El contenido de información de una de estas letras es de 2 bit por nucleótido. La densidad

de información es por lo tanto $1.88 \cdot 10^{21}$ bit/cm³.

Si se supone que el hombre tiene menos de cienmil genes (actualmente se estima en 30000) y se quisiera codificar la información hereditaria en el sistema binario, se tendrían del orden de $2 \cdot 10^7$ bit. Si se graba la información en cinta magnética, la longitud sería de dos kilómetros, mientras que si se desenrolla la espiral hereditaria del ADN y se estira en línea recta, la longitud sería solamente de unos dos metros. Lo cual da idea de lo compacto que es el embalaje de la información hecho por la naturaleza.

Aovillando, que es ADN

Preguntaba Rigel, hace algunas entradas, ¿Cómo se almacenan los kilómetros de escalera adenosa en sitio tan chiquitito como es una célula?

Me gusta la pregunta. Me gusta porque me da pie a desvariar un poco sobre un par de cosas, y a asustaros con numeritos, que es algo que siempre alegra mi malvado y negro corazón.

Procedamos al susto:

La "escalera adenosa" de una célula no alcanza el kilometraje ni de lejos. Haciendo unos pocos cálculos, que os ahorro, se ve que si estiramos todo el genoma humano, contenido en el núcleo de una célula, tenemos un filamento de poco menos de unos dos metros de largo.

-- Oiga, ¿y de gordo, cuánto?

-- Dos nanómetros. O sea, dos milmillonésimas de metro.

-- ¿Mande?

-- Digámoslo así: ¿ve la división en milímetros de una regla?

-- Bueno, con las gafas y tal...

-- Pues imagine ese milímetro, dividido un millón de veces. ¿Puede?

-- No.

-- Ni yo. Así de chiquitito es un nanómetro.

-- Caray.

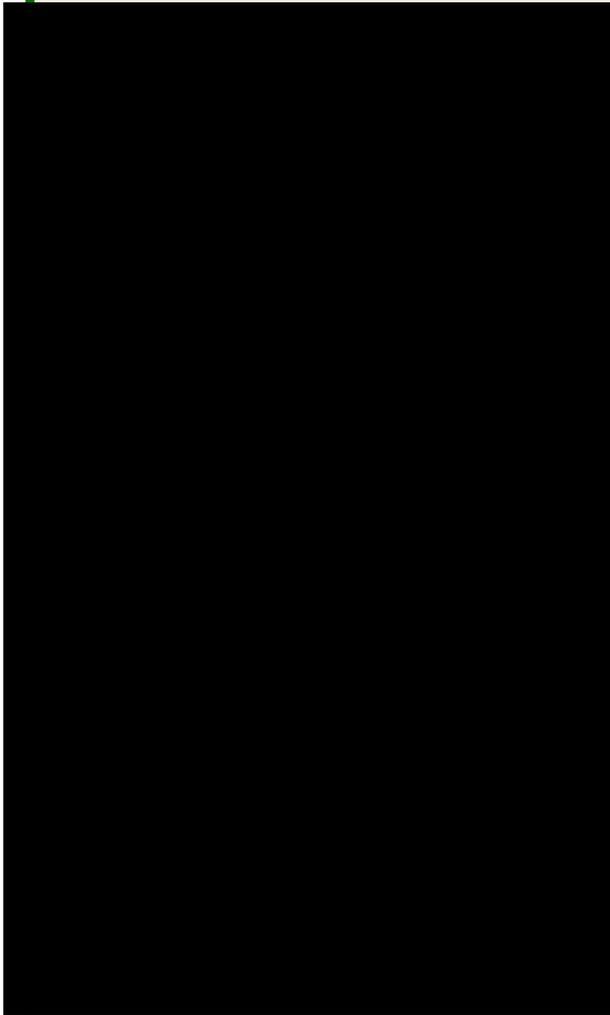
-- Y que lo diga.

Sea como sea, dos metros de hilito no son cosa nimia que empaquetar. Si se limitaran a estar enrollados sobre sí mismos, sería un desastre. Hay que tener en cuenta una cosa importante: el genoma no es una cosa que simplemente "está ahí". Es una parte muy dinámica de la célula, que tiene que acceder continuamente a la información contenida en ella; ahora este gen, ahora el otro, ahora este trozo de aquí, ahora el de allá. La visión de los cromosomas como esas X gorditas que se ve en los libros sólo ocurre cuando la célula está ocupada en dividirse. El resto del tiempo, el ADN es un ovillo medio suelto de ADN y proteínas que se conoce como "cromatina" y cuya estructura es muy complicada y tiene varios niveles de empaquetamiento.

Matemáticos, a mí: leí hace tiempo que el tipo de empaquetamiento que usa el ADN es el más eficiente que existe. No lo sé. Pero sé que a la célula le va muy bien. Paso a describirlo, poco a poco.

La hebra de ADN desnudita se enrolla en torno a una especie de "carrete" proteico formado por cuatro proteínas llamadas histonas, cuya importancia es imposible exagerar. Esto es lo que se llama "estructura en collar de perlas", por razones obvias. Hay una quinta histona por ahí, enzarzada con el trozo de ADN que enlaza cada una de las "perlas", pero esto es hilar finito. El collar, como véis ahí en el dibujito, es de unos 11 nanómetros de grosor: ni siquiera el doble que el ADN desnudo.

Sigo: el "collar de perlas" se enrosca sobre sí mismo en lo que se llama un "solenoid", de nuevo por razones obvias. La estructura tiene ahora 30 nanómetros de grosor, ¡la repera!



El solenoid, a su vez, conserva la flexibilidad y características de un hilo (una fibra de cromatina), que a su vez se enrosca más sobre sí mismo, en plan cable de teléfono, hasta formar la hebra del cromosoma. En este punto la hebra tiene 700 nanómetros de grosor. El cromosoma completo, con sus dos cromátidas y tal, es de unos 1400 nanómetros de grosor. Tres órdenes de magnitud más que la hebra desnuda. ¿Esto es mucho, o poco? Extrapolemos: si partimos de un hilito de un milímetro de grosor (proporcionalmente tan largo como el ADN de un cromosoma), y lo empaquetamos como un cromosoma, el paquete resultante tendrá un metro y pico de grosor. No está mal.

¿Y qué tal en cuanto a la longitud? ¿Cuánto hemos conseguido acortar la hebra para que quepa en el

núcleo? Vamos a verlo: este sistema de empaquetamiento consigue que la longitud de la hebra de ADN se reduzca cincuenta mil veces. Que se dice pronto. Si queréis os asusto con más numeritos: el cromosoma más largo del genoma humano mide 263 millones de pares de bases (todo el genoma son unos tres mil millones). Estiradito, eso son, a grosso modo, nueve centímetros. Tras el empaquetamiento, no llega a las veinte diezmilésimas de milímetro de largo.

Así que, ¿cómo se almacena el ADN en la célula? Pues, la verdad... la mar de bien.

Y como fin de fiesta, para aquellos a los que les dé pereza lo negro, todo lo anterior está perfectamente explicado en este bello dibujo, que además (astucia supina) es un enlace a una página anglosajona donde se explican más cosas aún. El que no sepa más de cromatina después de esto, es ya porque no quiere. De nada.

[La Biblioteca de Babel](#) Toda la materia viva, desde el virus más primitivo hasta el hombre son cadenas transportadoras para transmitir la información hereditaria, son sistemas de comunicaciones perfectamente contruidos, que tienen una asombrosa exactitud para transmisión de sus datos, con una gran defensa contra la acción de diferentes interferencias, y realizados en unas dimensiones increíblemente pequeñas.

El ADN "cumple" 50 años

La determinación de que el ADN transmite información genética de un individuo a su descendencia se concretó hace ahora 50 años. Durante este tiempo, el interés por esta sustancia química de la que están hechos nuestros genes y, por tanto, el libro de instrucciones para fabricar a un ser vivo, no ha hecho más que aumentar, hasta el punto de que la estructura del ADN (de doble hélice) se ha convertido en un icono en el mundo científico.

Redacción Ondasalud.com

La determinación de la estructura en doble hélice del ADN se considera uno de los hitos científicos del siglo XX. James Watson y Francis Crick la publicaron por vez primera vez en la revista Nature y ahora, cincuenta años más tarde, este medio festeja el hallazgo que culminó con la concesión del Premio Nobel de 1962 en Medicina y Fisiología a la célebre pareja.

¿Por qué se celebra el quincuagésimo aniversario del descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN y no otros hallazgos científicos?

Para Robert Olby, del Departamento de Historia y Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Pittsburgh, en Estados Unidos, para entender la magnitud de este acontecimiento científico "primero tenemos que situarnos en 1953, otro mundo, en el que la revista científica aún no utilizaba la abreviatura de ADN para el ácido desoxirribonucleico".

Antecedentes

A principios de la década de 1950 existía un programa científico de investigación del ADN. "Estos estudios incluían el análisis de las propiedades físicas del ADN y se analizaba si su composición era igual para todas las células del organismo. Y también se discutía sobre el daño de los rayos ultravioleta, entre otros factores, sobre este material genético.

La mayoría de los investigadores eran bioquímicos y químicos y estaban especialmente interesados en dos aspectos: las mutaciones genéticas y cómo las proteínas realizaban el proceso de la síntesis, un tema especialmente importante para el crecimiento, la nutrición y la investigación en cáncer. "La progresiva investigación condujo a que ya en 1952 se viera al ADN como material hereditario".

Pero hacía falta mucha más información para convencer a toda la comunidad científica. ¿Cómo justificar desde un punto de vista químico el papel del ADN en la herencia?, se preguntaban. La respuesta la aportó el trabajo de James Watson y Francis Crick. Describieron los pares de bases, donde la adenina fabrica uniones de hidrógeno con timina, y la guanina con citosina (las famosas cuatro letras A, T, C y G que forman el gran libro del genoma). "Este emparejamiento sugería un posible mecanismo de copiado para el material genético", escribieron en su artículo y, dos meses después añadieron: "Hasta ahora no se había presentado ninguna evidencia que mostrara de qué forma puede consumarse el proceso esencial para el material genético, la duplicación exacta".

La constatación de que el descubrimiento de Watson y Crick era sumamente importante la suministraron Matthew Meselson y Franklin Stahl en 1958 al probar la naturaleza de la replicación del ADN.

La investigación siguió su curso hasta llegar al punto y seguido de esta bonita historia que fue la concesión del Premio Nobel de Medicina en 1962 a Watson, Crick y Wilkins.

Un retrato idealizado

La estructura de doble hélice que se ha popularizado hasta superar el entorno científico es una representación muy estética del ADN. En realidad, el aspecto del ADN es bastante diferente. Sin destruir la visión idealizada del modelo icónico propuesto por Watson y Crick, un científico relata en Nature que "en honor a la verdad, debemos explicar que la mayoría del ADN celular está comprimido en paquetes enmarañados y apelmazados que de alguna manera lo exponen de forma meticulosa al control regulador genético".

Según refleja este artículo, la doble hélice es una de las razones del éxito de los trabajos realizados sobre el ADN. "Ahora bien, no nos tenemos que dejar engañar por este retrato idealizado y debemos ser conscientes de la complejidad que posee la estructura de ADN y, por

ello, reconocer el trabajo tan importante de sus descubridores".

Ejemplos de la vida real

Supongamos un ejemplo de la vida real, se va por una carretera y se llega a una bifurcación. Si se desea saber por ejemplo cual de las dos conduce a Murcia, lo lógico sería ver los rótulos indicativos que suelen existir en las carreteras, pero en este caso sólo hay grandes carteleras publicitarias (aunque están prohibidas, pero como el alcalde se preocupa de pocas cosas), por lo tanto la información recibida es nula, igual a cero. Si vemos a otro coche que se acerca, se puede preguntar al conductor sobre cual de las dos vías conduce a Murcia, respondiendo por ejemplo, la de la derecha. Esta información recibida permite hacer una elección entre dos posibilidades, es decir entre las dos posibles salidas. Se ha recibido un bit de información.

Otros ejemplos habituales pueden ser:

¿Cuánta información obtenemos cuando nos dicen que cierta persona tiene el pelo oscuro, o que es una mujer? Parece de locos intentar cuantificar de forma precisa este concepto, pero lo vamos a hacer partiendo precisamente de su idea intuitiva.

Lo primero que debe quedarnos claro es que el hecho de obtener información es equivalente al de disminuir la indeterminación con respecto a algo, de tal forma que se obtiene tanta más información cuanto más disminuya el grado de incertidumbre que tenemos de cierto fenómeno.

Veamos esto con un ejemplo, si nos dicen las siguientes frases:

- La persona que describo tiene el pelo oscuro.
- La persona que describo es mujer.

En la primera frase se nos da un dato de todos los posibles (claro, castaño, pelirrojo, rubio, canoso), al igual que en la segunda, (hombre, mujer, lesbiana, "gay", bisexual), por tanto la primera y la segunda nos dan igual información, sin embargo si en el segundo caso simplificamos y sólo consideramos dos posibilidades (hombre, mujer), obtenemos más información al disminuir mucho más la incertidumbre que teníamos con respecto a la persona.

Otro ejemplo: El alfabeto español se compone de 27 letras. Si un ordenador genera letras al azar, la información que nos suministra el conocer que letra ha salido será mayor que en cualquiera de los casos anteriores porque el número de estados posibles es mayor (27).

Conclusión: La cantidad de información que obtenemos con un mensaje es directamente proporcional al número de estados posibles de la cuestión planteada.

Los matemáticos y los físicos se han puesto de acuerdo que es lógico y cómodo tomar por unidad de información una dosis de información tal que disminuye nuestra ignorancia en dos veces y permite hacer una elección entre dos posibilidades equitativas. Claro está que se ignora la importancia de esta elección.

Un caso más complicado es la elección entre cuatro salidas posibles. Por ejemplo, si hace falta prever en qué trimestre se desean las vacaciones, se seguiría el proceso siguiente:

- ¿En qué mitad del año? En la primera
- ¿En que trimestre de la primera mitad del año? En el segundo

Otro ejemplo es el esconder una moneda debajo de una de entre cuatro

tazas. ¿Cómo encontrar la moneda con sólo dos preguntas a las que se contesta si o no?

- ¿Se encuentra la moneda debajo de la primera o de la segunda taza? No
- ¿Se encuentra la moneda debajo de la cuarta taza? No

La moneda, necesariamente ha de estar debajo de la tercera taza.

De los dos ejemplos previos, se deduce que al hacer una elección entre cuatro opciones posibles, hacen falta dos unidades de información y no una.

Si se escondiera la moneda debajo de una de entre ocho tazas, para encontrarla harían falta tres unidades de información. Así de forma sucesiva, aunque al aumentar el número de tazas es más probable que rompamos alguna buscando la moneda. Se puede observar una dependencia entre la cantidad de variantes N , u orígenes, y la cantidad de unidades de información J , necesarias para tomar una decisión,

$$N=2^J$$

y tomando logaritmos, se tiene

$$J=\log N$$

Esta fórmula fue propuesta en 1928 por [Ralph Hartley](#) (1888-1970), e indica que la información necesaria para la elección entre N variantes equitativas es igual al logaritmo del número de variantes.

La función [logarítmica](#) crece muy despacio al aumentar el número, esto implica que la cantidad necesaria de información crece muy despacio al aumentar el número de variantes. Por ejemplo, para tomar una decisión entre 512 variantes, sólo hacen falta 9 unidades de información, y si N es 4096, hacen falta 12. Un ejemplo real de esta dependencia logarítmica es cuando un juez de instrucción, recibiendo del acusado ávidas contestaciones sólo en forma de las unidades de información "sí" o "no", rápidamente aclara un asunto. Sin duda, a él ayuda la dependencia logarítmica previamente deducida.

Si en la fórmula ponemos $N = 2$ ($\log_2 = 1$), se obtiene la dosis que tiene la unidad de información que ha recibido el nombre de bit.

Claude E. Shannon fue el primero que formuló una definición matemática del concepto de información en su trabajo "*A mathematical theory of communication*" (1948). La medida que él utilizó, el bit (binary digit), brindó la ventaja de permitir la definición cuantitativa de causalidades que hasta ahora no había sido posible expresar de una forma matemática exacta. La desventaja, no obstante, es evidente: la información según el [concepto de Shannon](#), no implica su contenido intrínseco, sino que se limita a un aspecto especial, que es significativo sobre todo para su transmisión y registro desde el punto de vista técnico. En este caso, no se tiene en cuenta que un texto sea razonable, comprensible, correcto o incorrecto o simplemente no tenga significado alguno. Se desatienden aquí también cuestiones importantes como el saber de dónde procede la información (emisor) y a quien va destinada (receptor).

Para la definición "[información](#)" de Shannon no tiene transcendencia alguna si una serie de letras representa un texto de alto contenido temático o si, por el contrario, constituye el resultado de un juego de dados. Efectivamente, y aun bajo el riesgo de parecer paradójico, puede afirmarse que una serie de letras generadas al azar ofrece, desde el punto de vista teórico informático, un contenido máximo de información, mientras que un texto cuyo lenguaje sea congruente, el valor correspondiente es menor.

La definición informática de Shannon se limita a un aspecto de la información, esto es, el hecho de que a través de ella se exprese algo nuevo. Nuevo implica el mayor efecto de sorpresa que se obtiene al aparecer un signo menos usual. Información es, por lo tanto en este caso, la medida de improbabilidad de un acontecimiento. Por esta razón, a un signo con alto grado de improbabilidad se le concede un mayor contenido informativo.

Antes de que un emisor de signos origine un signo, existe la duda de que signo especial va a emitirse de entre los signos disponibles. Esta inseguridad desaparece tras haber recibido la señal. Según la forma de discernir de Shannon se define lo siguiente: **información es la inseguridad que desaparece al recibirse la señal correspondiente.** Teniendo en cuenta que Shannon sólo está interesado en determinar la probabilidad de aparición de los signos, automáticamente sólo registra el carácter estadístico de la información. Con ello, el concepto de la palabra información queda reducido a su aspecto carente de significado. Según Shannon el contenido de la información queda definido de forma que reúna las siguientes propiedades:

Condición de adición: El contenido de información de unos signos o series de signos independientes el uno del otro, debe sumarse. Esta condición concibe la información como algo cuantitativo.

Condición de probabilidad: El contenido de información atribuido a un signo, o serie de signos debe aumentar con el aumento progresivo de la sorpresa. El efecto de la sorpresa para la letra w , con menor probabilidad de aparición, es mayor que el de la letra e , con mayor probabilidad de aparición. De ello se deduce, cuanto menos probable sea un signo, tanto mayor será su contenido de información.

3.4 Información y mensajes

El interés más evidente de la medida de la cantidad de información aportada por el resultado de una experiencia, aparece cuando se trata de transmitir este resultado a distancia. A continuación se describe un ejemplo muy ilustrativo, supongamos que tu trabajas en una oficina en un pequeño grupo formado por cuatro empleados y el jefe. Este último por comodidad empleó para llamar a sus empleados un sistema de comunicación muy sencillo: un timbre suena y en un panel se enciende una de las cuatro lámparas en las que están escritas las primeras letras de los nombres de los empleados. Estas son A (Antonio), M (Marisol), P (Procopio) y U (Úrsula). Supón que tu código sea A. Los primeros meses se desarrollaba un proyecto conjunto con la participación por igual de los cuatro y por lo tanto las llamadas del jefe implicaban que las cuatro luces se encendieran con la misma frecuencia. (La información era el $\log 4$, es decir 2 bit). La probabilidad de que aparezca la luz en tu lámpara o en cualquier otra, es .25

En un momento tu hiciste una proposición muy original al jefe, y desde entonces casi se encendía solamente la lámpara A. Esto hizo que en cuanto sonaba el timbre acudías a la llamada del jefe, sin ni siquiera mirar la lámpara que se encendía. Haciendo cálculos se llegó a que la probabilidad de que apareciera la A era .97, mientras que para cada uno de los otros tres empleados era .01, evidentemente la suma de las tres probabilidades es la unidad.

Se aprecia fácilmente que cuantas más señales o códigos de igual probabilidad se emplean, tanto menor es la probabilidad de cada uno de ellos. Según Shannon, para las señales de igual y diferente probabilidad la

cantidad de información en su envío o código se determina por la probabilidad de su aparición. Esta dependencia es también inversa: cuanto más frecuentemente aparece el código, tanto menos información lleva. Por eso tu no mirabas la lámpara al sonar el timbre, a pesar de que de cada 100 llamadas había tres que no eran tuyas. La aparición de la luz en la lámpara A era segura y la cantidad de información que llevaba esa luz disminuyó mucho, hasta $\log(1/.97)$, igual a 0.04 bit. Mientras que la información de las señales poco frecuentes aumentó considerablemente a $\log(1/0.01)=3.32$ bit.

La lotería puede ilustrar esto, supongamos un sorteo, el individuo mira la lista de los número premiados, después de estar un rato buscando ya ha perdido la esperanza y cada nueva búsqueda no le aporta ninguna información, de repente se pone radiante, ganó un millón de euros , si sólo hay un premio como este por cada millón, recibió de golpe una información de $\log(1/.000001)$ lo que equivale a 20 bit.

Volvamos a la oficina, pasado cierto tiempo la situación cambió por completo, poco a poco la lámpara A dejó de encenderse. Entonces al comprobar que al sonar el timbre ya no aparecía la luz de la letra A, te tapaste los oídos con algodón. En esta situación el encenderse la luz de la A, supone una gran cantidad de información, lo que pasa es que no las notas al tener tapados los oídos, y son los compañeros quienes te lo indican.

Fórmula de Shannon

Shannon propuso una expresión generalizada: hay que calcular la información comunicada por cada código (en este caso cada lámpara) y mediarla por todos los códigos (por todas las lámparas). Pero no hay que mediarla del modo corriente, sino por las reglas de las magnitudes causales: la información comunicada por cada código se multiplica por la probabilidad de su aparición y se suman todos los productos recibidos.

De esta forma se llega a la siguiente fórmula,

$$H = p_1 \cdot \log(1/p_1) + p_2 \cdot \log(1/p_2) + \dots + p_m \cdot \log(1/p_m)$$

donde H es la [entropía](#), las p son las probabilidades de que aparezcan los códigos y m el número total de códigos.

En el caso de las luces, para la situación en la que el jefe llamaba continuamente, se tendría,

$$H = .01 \cdot \log(1/.01) + .01 \cdot \log(1/.01) + .01 \cdot \log(1/.01) + .97 \cdot \log(1/.97) = 1.38 \text{ bit}$$

es evidente que para el período en que las cuatro luces se encendían con igual probabilidad, con esta expresión se llega a 2 bit, como se dedujo de la fórmula de R. Hartley.

Así la diferente probabilidad de la aparición de luz en las lámparas llevó a la disminución de la información que comunica el tablero de señales, es decir a la disminución de la entropía.

Información y significado

Existe una clase muy amplia de fenómenos observables que se pueden asociar a cantidades numéricas, o a una sucesión de cantidades numéricas, distribuidas en el tiempo. Su estudio pertenece a la estadística. estas cantidades, o sus medidas estadísticas, dan información sobre los fenómenos observados.

En una línea telefónica, o en un circuito de televisión, o en un radar, tenemos unas cantidades, las medidas de los voltajes de la corriente

eléctrica que en un cierto momento fluyen por el lugar donde hacemos la medida, que varían muy rápidamente en el tiempo y que son susceptibles de ser estudiadas desde un punto de vista estadístico. Los receptores telefónicos, los filtros de onda, las redes de modulación de frecuencias, etc., han de poder procesar la información inherente a los cambios de voltaje a un ritmo tan rápido como la variación de éste.

La información se ha de poder registrar, conservar, transmitir y usar. Las ideas fundamentales sobre la cuestión de medir la información, pueden ser atribuidas a Claude E. Shannon, aunque hay otras personas que ayudaron a aclarar algunos conceptos fundamentales, como por ejemplo Norbert Wiener.

Una teoría de la información es, de hecho, una teoría de la medida de la información como consecuencia de la idea de que ésta es medible. En 1922, R.A. Fisher proponía una definición cuantitativa de la cantidad de información contenida en datos experimentales susceptibles de tratamiento estadístico. Más tarde, el desarrollo de las telecomunicaciones impuso la necesidad de medir la información transmitida a través de un canal, en este caso el hilo metálico.

La cronología del desarrollo del estudio de la teoría de la información podría resumirse del siguiente modo:

1928, R. Y. Hartley, en el congreso internacional de telefonía y telegrafía, propuso un método de comparación de los distintos sistemas transmisores de información.

1948, C.E. Shannon, partiendo del problema concreto de la transmisión por hilo, halla la medida de la cantidad de incertidumbre asociada a un campo de probabilidades finito, inspirada en el modelo de entropía termodinámica de Boltzmann (1894). Fue él mismo quien dio las nociones de fuente, canal, perturbación, etc., así como algunos de los teoremas fundamentales de la codificación que son la base de esta teoría de la información que nos disponemos a estudiar.

1953, B. McMillan reemprendió los trabajos de Shannon e introduce las definiciones matemáticas de fuente de información y canal de transmisión. Pasa de las fuentes de Markov a las fuentes ergodinámicas (existencia del vector de probabilidades de estado estacionarias).

1954, A. Feinstein dio la primera demostración completa del teorema de codificación, enunciado por Shannon para los canales sin memoria.

1956, A.L. Khintchine elaboró el primer tratamiento matemático riguroso y completo de la teoría de la información para los canales estacionarios ergódicos y para los canales con memoria finita y sin anticipación.

1962, M.L. Minsky desarrolló las ideas de R.J.Solomonoff sobre la teoría algorítmica de la información basada en la complejidad asociada a la realización de un cierto algoritmo, por medio de una cierta máquina de Turing. Posterior-, mente, esta teoría se ha ido desarrollando por otros autores como A.N.Kolmogorov, P.Martin-Löf y G.J.Chaitin.

1963, S. Winograd y J.D. Cowan publicaron un buen trabajo sobre la teoría de autómatas fiables, construidos a partir de partes no fiables, estableciendo una conexión

entre la teoría de la comunicación de Shannon y la de autómatas, desarrollada anteriormente por Von Neumann.

Durante los años sesenta del siglo pasado se lleva a cabo una revisión de la teoría de la información de Shannon para contemplar aspectos semánticos de la información. Tales revisiones son los trabajos de Rényi, Forte, Kampé de Fériet, Aczel, etc..

Un equipo de científicos japoneses "escribió" y recuperó una fórmula física en el genoma de un tipo de bacteria. La técnica podría abrir el camino para usar el ADN de animales o plantas para almacenar mucha información en poco espacio. Según los investigadores, el ADN sería un material más resistente que los CD, DVD y los discos duros que suelen romperse fácilmente.

(Agencia CyTA-Instituto Leloir. Por Bruno Geller) - Los CD, DVD y los discos duros son soportes físicos que pueden almacenar una gran cantidad de información, sin embargo, tienen la desventaja de que pueden romperse fácilmente. Por ese motivo, científicos de diversos países pretenden crear a partir de materia biológica dispositivos de almacenamiento de memoria más resistentes, que podrían durar miles de años. Esto quizás no sea importante para la finita vida de un individuo, pero tal vez sí podría serlo para la humanidad.

Investigadores del Instituto para las Biociencias Avanzadas de la Universidad Keio, Japón, crearon un método para guardar información en el ADN de un organismo viviente que podría ser transmitida a la descendencia, según revela la revista científica The Journal of the American Chemical Society.

Los creadores de la técnica, encabezados por el doctor Yoshiaki Ohashi, insertaron en el ADN de la bacteria *Bacillus subtilis* el mensaje "E=mc², 1905" que corresponde a la ecuación de la Teoría de la relatividad formulada por el físico Albert Einstein en el año 1905.

El mensaje fue traducido al sistema binario que en matemática es un sistema de numeración en el que los números se representan utilizando las cifras cero y uno (0 y 1) de acuerdo con determinado orden y que es utilizado por las computadoras para realizar sus operaciones. Mediante la combinación de esos números, que también pueden representar letras, es posible crear el mensaje "E=mc², 1905", así como cualquier otro.

El experimento

Ohashi y sus colegas utilizaron la adenina (A), la guanina (G), la citosina (C) y la timina (T) -cuatro unidades básicas que conforman junto a otros elementos el ADN- para crear el mensaje. La unión de las bases representaban los números del sistema binario que a su vez representaban las letras y números del mensaje.

Una vez creado el mensaje mediante la unión de las bases del ADN, fue insertado en el genoma de la bacteria *Bacillus subtilis*. Días después, los investigadores

recuperaron el mensaje tras descifrar la región del genoma donde fue inscrita la información.

Según Ohashi, la secuencia de nucleótidos "*compuestos por las bases de ADN- que puede ser artificialmente insertada en el ADN de organismos vivientes puede ser una alternativa viable para almacenar información por dos razones: el ADN es un material resistente y por otro lado la información podría ser transmitida por herencia a las sucesivas bacterias durante miles de años*".

Sin embargo, quedan varias cuestiones por resolver. Si bien las bacterias heredan copias idénticas de genes de sus precursoras, como si fueran clones, el ADN de las bacterias puede experimentar mutaciones que podrían modificar la información guardada. En ese sentido, los autores del trabajo consideran necesario desarrollar técnicas que de forma simultánea descifren el mensaje e interpreten la lógica de las mutaciones.

Si esa mutación no se produjera, una persona que no conoce la información " $E=mc^2$, 1905" inscrita en el genoma de la bacteria, sería capaz de descifrarlo simplemente comparando el genoma normal con el genoma de la bacteria genéticamente modificada: las diferencias revelarían el mensaje encriptado.

Bibliotecas y computadoras del futuro

Cabe preguntarse si en el futuro la humanidad dispondrá de bibliotecas vivientes compuestas de bacterias, insectos o plantas cuyos genomas modificados albergarán novelas, diccionarios o enciclopedias, entre otros datos. Con esas técnicas, más de una persona podría poner su biografía a salvo de la curiosidad ajena o bien enviar un mensaje de amor inscrito en el genoma de una rosa.

¿Cuándo llegara la era de las computadoras compuestas por millones de moléculas de ADN capaces de almacenar más información que un chip convencional, dotadas de neuronas artificiales que imiten o superen el funcionamiento del cerebro humano? ¿Habrán sistemas informáticos basados en una combinación de material biológico con circuitos electrónicos y silicio? Expertos en informática y de otras disciplinas están trabajando en esa dirección

● Enlaces recomendados:

[El alfabeto y la escritura](#)

[Límites en la compresión de la información](#)

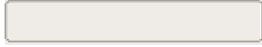
[¡Más barata! ¡Más barata! \(1ª parte\)](#)

[Información a precio ~0: revolución social, peligros y soluciones](#)





 [fresqui](#)  [del.icio.us](#)  [meneame](#)



[Rafael Menéndez-Barzanallana Asensio](#)

Departamento Informática y Sistemas. Universidad de Murcia

Bajo Licencia Creative Commons

Actualizado 2009/03/28

