

ENCUENTROS CON LA CIENCIA II

Del macrocosmos al microcosmos

Coordinadores: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano

Premio
Divulgación Científica
Ateneo-Universidad de Málaga
2010



Coordinan: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano
Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga

Produce: Ciencia Digital, S.L.
Diseño de portada: Patricia Vicente López

ISBN: 978-84-9747-337-8 (Versión digital)



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons:
Reconocimiento - No comercial - SinObraDerivada (cc-by-nc-nd):
[Http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es)
Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.
No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta obra se encuentra depositada en el repositorio institucional de la Universidad
de Málaga (RIUMA), en <http://hdl.handle.net/10630/4255>
y puede consultarse también en www.encuentrosconlaciencia.es.

Índice

Prólogo	7
Introducción	9
Mundo RNA y origen de la vida. Carlos Briones Llorente	11
Una aproximación experimental a la evolución viral: desentrañando los papeles de la mutación, la selección y el azar. Santiago F. Elena	27
Simbiosis: aprendiendo a vivir juntos. Amparo Latorre Castillo	39
Bacterias Guerreras, Guardianas y Suicidas. Cayo Ramos Rodríguez	51
De la Biología Molecular a la Biomedicina. Margarita Salas	65
Fármacos Biológicos: ¿Una nueva medicina?. Beatriz Gil Torregrosa	75
La revolución biotecnológica: ¿amenaza u oportunidad para el desarrollo de la humanidad? Luis Ángel Fernández Herrero	87
Biología molecular y Bioinformática: dos ciencias destinadas a entenderse. Francisca Sánchez Jiménez	99
Genética forense: De la escena del crimen al laboratorio. José Antonio Lorente Acosta	115
Genómica Neandertal. Carles Lalueza-Fox	127
Expedición científica a la caldera de Lubá. Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). Ignacio Martín/Pablo Cobos	137
Insectos en ámbar: atrapados en el tiempo. Antonio Arillo Aranda	151
¿Qué dice la ciencia sobre la Sábana Santa? José-Manuel Fernández-Fígares	163
Sobre minerales, metales y gemas. El legado minero de la provincia de Málaga. Juan C. Romero Silva	179
Sonidos de la ciencia: consumo y contrapublicidad. Bartolo Luque Serrano	211
Ciencia a la cazuela. Carmen Cambón Cabezas, Marisol Martín de Frutos y Eduardo Rodríguez Martín	221
Determinismo y azar en el comportamiento humano. Marcos Ruiz Soler	241

ENCUENTROS CON LA
CIENCIA II
Del macrocosmos al microcosmos

Málaga, 2010

Determinismo y azar en el comportamiento humano

Marcos Ruiz Soler. *Profesor Titular de Metodología de las ciencias del comportamiento*

Los seres humanos somos unas criaturas extrañas y sorprendentes. Somos seres biológicos con características muy similares pero, a la vez, seres sociales muy distintos en nuestro comportamiento. No es necesario ir demasiado lejos para corroborarlo. Un grupo de amigos que decide reunirse el fin de semana muestra rápidamente tal variabilidad. Para empezar, no todos llegan a la misma hora. La decisión acerca de a dónde ir a tomar algo depende de diferentes criterios para cada uno: calidad, precio, distancia, etc. En la interacción social aparecen también diferencias y nos encontramos así con el gracioso, el sabelotodo, el pesimista, etc. ¿Es esta variabilidad simple resultado del azar o, por el contrario, es posible encontrar sus causas determinantes? El propósito de este capítulo es mostrar qué conclusiones cabe extraer desde los resultados obtenidos por la investigación científica.

¿Qué pretende la Ciencia?

Es comúnmente aceptado que los objetivos principales de la ciencia son la descripción, la explicación y la predicción. Pero el genuino objetivo de la ciencia es la explicación. Explicar significa encontrar las causas del fenómeno estudiado. Así, explicar por qué recordamos u olvidamos un número de teléfono o lo que teníamos que comprar en el supermercado significa identificar aquellos factores que posibilitan nuestro acceso o dificultad para recuperar ciertas representaciones mentales. Explicar la conducta agresiva o cooperativa de unos adolescentes significa encontrar aquellas variables que son capaces de producirla en determinadas circunstancias. Explicar un trastorno psicológico, como una depresión profunda o una crisis de ansiedad, significa dar con los desencadenantes de las mismas en un momento dado. La descripción suele considerarse un paso necesario previo a la explicación, mientras que la predicción

—aunque muy deseable— no siempre es posible (a decir verdad, también pueden darse casos de predicción sin explicación, pero se trata de algo poco frecuente).

¿Y cómo consigue la ciencia encontrar una explicación? Hace algunos años, participando en un congreso sobre metodología de las ciencias humanas y sociales, expresé la idea de que la ciencia es la demostración de nuestra incapacidad para comprender la realidad. Los asistentes me miraron con cara extrañada, pues parecía contradecir la idea comúnmente aceptada. Cuando ofrecí mi explicación su cara de asombro se transformó paulatinamente en una especie de "ah, vale... si se trata de eso, está claro". ¿Qué conté entonces? Algo que sabe todo científico, pero que puede llegar a olvidársenos. Nuestros modelos sobre la realidad (teorías, leyes, etc.) no son más que simplificaciones —más o menos acertadas— acerca de cómo opera la realidad, no un fiel reflejo de la misma. Son simplificaciones construidas para comprender el mundo que nos rodea. Si nuestra capacidad cognoscitiva fuera tremendamente mayor de la que es, probablemente no necesitaríamos tales simplificaciones, entenderíamos la realidad tal cual es, sin intermediarios.

Veamos un ejemplo. Supongamos que quiero conocer las temperaturas medias de una región en primavera porque voy a ir a pasar una semana de descanso y dispongo de los valores promedio de temperatura de sus tres meses en el año anterior. Aquí parece que no es necesario nada para hacerse una idea de la temperatura media esperable. Es posible pensar muy fácilmente en esos tres valores. Sin embargo, si en lugar de tres valores tuviésemos 90 (los correspondientes a los 30 últimos años), entonces nos resultaría algo más problemático hacernos una idea general y deberíamos recurrir a algunos cálculos sencillos, como obtener el promedio de tales valores y algún indicador de su variabilidad. Posiblemente reduciríamos la complejidad de los 90 datos a dos índices estadísticos bien conocidos: la media aritmética y la desviación típica. Es cierto que así perdemos algo de información, pero ganamos sustancialmente en comprensión. El problema aparece cuando se nos olvida que nuestro modelo no es la realidad, algo fácilmente recordable cuando entre el modelo y los datos no existe un buen ajuste, pero igualmente olvidable en caso contrario.

La Ciencia dispone de un amplio muestrario de modelos acerca de la realidad con un ajuste casi perfecto. Se trata de algunas de las leyes y teorías

más conocidas en diversos campos de la naturaleza. Así, por ejemplo, en Física destacan la ley de la gravitación universal, la ley de la inducción electromagnética, las leyes de la termodinámica o la teoría de la relatividad. En Química son de particular importancia la ley de Lavoisier sobre la conservación de la masa, la ley de Proust sobre las proporciones definidas, la ley de Dalton sobre las proporciones múltiples y la ley de Richter sobre las proporciones recíprocas. En Bioquímica destaca la ley de Chargaff y tampoco podemos olvidarnos de las tres famosas leyes de la genética de Mendel. Por supuesto, existen otras muchas, pero gracias a éstas hemos obtenido un conocimiento de cómo funciona el mundo que nos ha permitido intervenir en él de un modo muy eficaz y dando origen a toda la tecnología actual (algo muy bien ilustrado en la obra de Guillen titulada *Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo*). Nadie, pues, duda de que la naturaleza sigue ciertas leyes y que, poco a poco, conocemos más sobre ellas. Esto es incuestionable en las denominadas "ciencias duras" (Física, Química, etc.), pero ¿qué decir de la disciplina que estudia el comportamiento humano, de la Psicología? ¿también existen leyes en el sentido fuerte del término? Ese es el asunto que vamos a tratar a continuación.

¿Cómo se estudia científicamente el comportamiento humano?

Del estudio del comportamiento humano se encargan los psicólogos, aunque dada la amplitud de los temas que estudian no es infrecuente que lo hagan en colaboración con profesionales de otras áreas de conocimiento: biólogos, médicos, educadores, sociólogos, lingüistas, informáticos, ingenieros, etc.

A diferencia de otras áreas del saber (como la Astronomía o la Medicina, por ejemplo), en general se conoce poco por parte del gran público acerca del modo de investigar el comportamiento humano. Sin embargo, durante las tres últimas décadas se ha dado un significativo avance en las técnicas de estudio, empleando una rigurosa metodología experimental capaz de encontrar las causas de multitud de fenómenos psicológicos (Salvador, Pelegrina y Ruiz Soler, 1988). Éstos, por razones históricas, se han agrupado en grandes campos de estudio, conformando así los contenidos de nuestras actuales áreas de conocimiento en Psicología: (a) los procesos psicológicos básicos, es decir, procesos atencionales, perceptivos, de

memoria, lenguaje, razonamiento, motivación, etc. (área de psicología básica); (b) las bases biológicas del comportamiento, es decir, la neurobiología, psicofisiología, psicofarmacología, neuropsicología, etc. (área de psicobiología); (c) el desarrollo humano, en sus diferentes ámbitos: motor, cognitivo, emocional y social (área de psicología evolutiva); (d) la personalidad y las diferencias individuales (área de personalidad) y (e) las relaciones con el otro: actitudes, estereotipos, prejuicios, cooperación, agresión, conformidad, persuasión, liderazgo, atracción interpersonal... (área de psicología social).

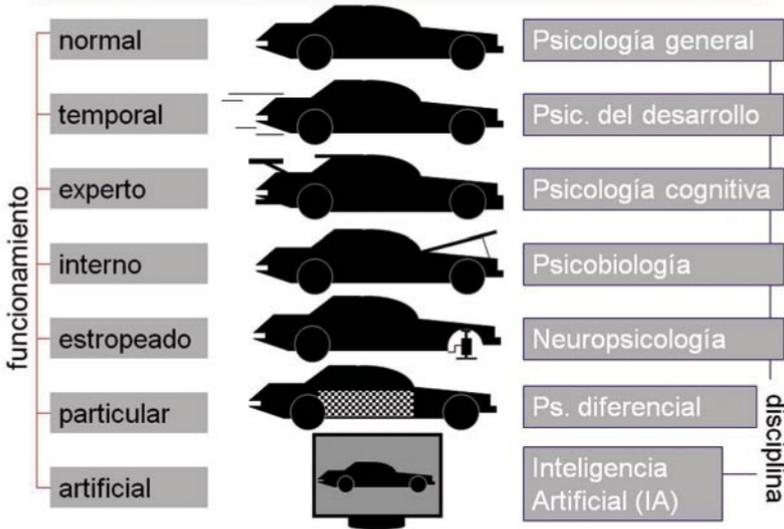
Además de saber qué aspectos del comportamiento –en el sentido amplio del término– estudia la Psicología, parece necesario conocer desde qué “nivel” los estudia. David Marr, un brillante y joven científico que trabajó en el *Massachusetts Institute of Technology* en los años 70, estableció una importantísima distinción en el estudio de cualquier sistema (ya fuera biológico o artificial). Según él, cabía distinguir siempre tres niveles: (1) ¿qué hace el sistema? (nivel computacional), (2) ¿cómo lo hace? (nivel algorítmico) y (3) ¿dónde lo hace? (nivel físico). Veamos un simple ejemplo. Una lavadora tiene como finalidad limpiar la ropa, es decir, eliminar olores y suciedad de la misma (descripción computacional); pero no otras, como podrían ser su secado o planchado. Para ello sigue distintas etapas y procesos, como es la aplicación de diferentes combinaciones de temperatura del agua, duración del programa, velocidad del centrifugado, etc. (descripción algorítmica). Pero, además, también es posible analizar la lavadora desde sus constituyentes: a partir de sus formas y materiales: del tambor, los recipientes para el detergente, etc. (descripción física). Pues bien, los mismos niveles de análisis son aplicables al ser humano. Por ejemplo, al estudiar la memoria humana uno se podría preguntar: ¿por qué tal persona desea recordar un número? (nivel computacional o intencional), ¿cuáles son los procesos de codificación y recuperación de información que tienen lugar? (nivel algorítmico o simbólico) o ¿qué cambios físicos se producen en su cerebro durante el proceso de memorización? (nivel físico o biológico). En décadas pasadas se produjo una viva discusión acerca de la reductibilidad de los niveles superiores a los inferiores. No obstante, es actualmente opinión generalizada el que con tal reducción se perderían lo que se han denominado las “generalizaciones relevantes” (Pylyshyn, 1984), es decir, propiedades características de ese nivel, propiedades emergentes del nivel inferior. Ese reduccionismo entre niveles sería idéntico a querer explicar lo que realiza un programa

informático describiendo minuciosamente el paso o no de corriente en sus circuitos lógicos, lo cual, aunque sería posible, resultaría muy inapropiado para captar las operaciones generales del programa. Desde esta perspectiva de los niveles, el nivel genuino de la psicología es el algorítmico, pese a que deberá también mirar hacia arriba (nivel intencional) y hacia abajo (nivel biológico), en tanto en cuanto que es el primero es el que da sentido a lo que hace y el último el que sustenta físicamente su implementación.

Sabemos ya qué temas estudia la Psicología y desde qué nivel, pero ¿cómo lo hace? El modo de operar de la ciencia no se diferencia del de otras actividades tanto como en un principio podría parecer. Supongamos que alguien es aficionado a los automóviles. Puede que esté interesado en conocer únicamente su funcionamiento normal: cómo se comporta en autovía, en carreteras secundarias, en el trazado de las curvas, en adelantamientos... (conductor habitual). Sin embargo, también podría estar interesado en su evolución temporal, pues hay coches cuyo funcionamiento es óptimo tras un cierto rodaje, otros que acusan el desgaste con más rapidez, etc. (potencial comprador). Tal vez el interés se centre en condiciones especialmente difíciles, cuando el vehículo se lleva al extremo de su capacidad: con pavimento resbaladizo o nieve, a muy elevada velocidad, con curvas imposibles, etc. (piloto de rallyes). Todos sabemos que hay quienes muestran especial interés por las características internas del vehículo, es decir, las de su motor: cilindrada, válvulas, par/motor, etc. (ingeniero). Pero ese interés por lo interno puede centrarse en descubrir qué se encuentra estropeado, lo cual a veces es indicativo de cómo influye realmente ese elemento en el funcionamiento del vehículo (mecánico). No es infrecuente encontrar aficionados a examinar las diferencias entre vehículos de un mismo tipo o gama y, en lo posible, incluso compran varios modelos en sus diferentes variantes (coleccionista). Y más recientemente, no es extraño que algunos intenten comprender las características funcionales de los vehículos mediante algún juego de carreras de coches que consiguen una simulación bastante realista. Pues bien, todos esos modos de "estudiar" un vehículo son los que se dan en el estudio del comportamiento humano.

Del estudio de los aspectos comportamentales en su funcionamiento normal se ha encargado la, hasta no hace mucho, denominada *Psicología general*. Del estudio de la evolución del comportamiento, desde el nacimiento

Enfoques en el estudio del comportamiento



(ahora incluso antes) hasta la vejez se encarga la *Psicología evolutiva* (que no debe confundirse con la Psicología evolucionista). Del estudio del comportamiento experto se encarga una parte de la denominada *Psicología básica*. Del estudio de las bases biológicas del comportamiento se encarga la *Psicobiología*. Del estudio de los trastornos o deterioros del comportamiento originados por daños cerebrales se encarga la *Neuropsicología*. Del estudio de las diferencias individuales en el comportamiento (algo que se realiza básicamente a través de la administración de tests psicológicos) se encarga la *Psicología diferencial*. Del estudio del comportamiento mediante modelos computacionales se encargan algunos de los investigadores en *Inteligencia Artificial* (en estos últimos años se ha acuñado ya la expresión de *Psicología Artificial*).

Después de examinar qué temas estudia la Psicología, en qué nivel se sitúa para estudiarlos y cuáles son sus diferentes enfoques, estamos ya en condiciones para preguntarnos si es posible encontrar pautas comunes para todos los seres humanos.

¿Existen leyes científicas del comportamiento humano?

No existe duda alguna de que los fenómenos físicos o químicos pueden abordarse científicamente, pero cuando hablamos de fenómenos de las ciencias sociales puede que no exista unanimidad en aceptar que pueden estudiarse asimismo de un modo rigurosamente científico. En una conversación sobre el tema pueden escucharse argumentos como “el comportamiento humano es demasiado complejo como para poderlo estudiar científicamente”, “la Psicología podrá realizar algunas descripciones detalladas del comportamiento, pero es incapaz de realizar predicciones precisas”, ¿cómo va a ser posible estudiar científicamente temas como la creatividad, el amor o el altruismo?, “es imposible ofrecer modelos matemáticos de estos fenómenos tan humanos”, etc. Estas objeciones tal vez pudieran tener sentido hasta hace algunas décadas, pero –como trataremos de mostrar a continuación- son actualmente inapropiadas.

Como en el juego del ajedrez, existen una serie de reglas que condicionan la evolución del comportamiento. En nuestro caso se trata de las restricciones que imponen tanto la biología como la cultura o, en términos más generales, la naturaleza y el ambiente. Mucho se ha discutido sobre la importancia de cada uno de estos aspectos, algo que en términos anglosajones ha dado en llamarse la polémica *nature vs. nurture*. Sin embargo, aun dentro de las limitaciones que éstas imponen, es posible una enorme variedad de comportamientos, al igual que una partida puede desarrollarse de modos muy distintos. Veamos algunos casos representativos.

En 1860, Gustav Theodor Fechner, un psicólogo alemán, publicó sus *Elementos de Psicofísica*, una obra en la que exponía el descubrimiento de la relación existente entre los cambios en magnitudes físicas y su percepción subjetiva, basándose en los trabajos de su predecesor Weber. Posteriormente, el norteamericano Stanley Smith Stevens (1906-1973) formuló la ley de la energía que lleva su nombre, la cual se expresa como:

$$\Psi(I) = kI^a$$

Donde I es la magnitud el estímulo físico, Ψ es la sensación percibida (el tamaño subjetivo del estímulo), a es un exponente que depende del tipo de estímulo y k es una constante de proporcionalidad (que varía en función del estímulo y de las unidades empleadas). Lo importante aquí,

es que es posible establecer una perfecta relación entre los cambios en el estímulo y su percepción subjetiva. Así, por ejemplo, el exponente para sustancias dulces es de 0.8 mientras que para las saladas es de 1.4, lo cual indica que percibimos con más rapidez que un alimento está demasiado salado que dulce (se han determinado tales exponentes para el volumen sonoro, la iluminación, el frío, el calor, el peso, los electroshocks, el dolor, etc.).

Tomando como referencia el método de Fechner en Psicofísica, Bermen se propuso estudiar científicamente la memoria y en su obra *Ueber das Gedächtnis (Sobre la memoria)* expuso sus resultados acerca del olvido en función del tiempo (lo que se conoce como curva de olvido). Una aproximación matemática a la curva de la memoria es la siguiente fórmula:

$$R = e^{-\frac{t}{S}}$$

donde R es el recuerdo, S la intensidad relativa del recuerdo y t es el tiempo. Aunque en la velocidad del olvido intervienen diversos factores (como la representación mental, el estrés o el sueño), el ritmo de olvido es prácticamente el mismo para todas las personas.

Otro campo en el que se han encontrado diversas leyes es el del aprendizaje, ya desde los pioneros trabajos de Edward Thorndike con su famosa ley del efecto (1911), según la cual aquellas respuestas que se encuentren seguidas (o en contigüidad) de consecuencias reforzantes se asociarán al estímulo y tendrán mayor probabilidad de ocurrencia cuando el estímulo vuelva a presentarse. Posteriormente, el modelo de Hull para la conducta aprendida (1943) postulaba:

$$E = H \times D \times K - I$$

Es decir, la ejecución (E) de un hábito (H) en un momento dado depende del fortalecimiento de la fuerza del hábito (debido al reforzamiento) por el impulso o motivación (D , de *drive*, en inglés) y el valor de incentivo del reforzador K (que globalmente formarían la fuerza excitatoria) a lo que habría que restarle la fuerza de inhibición (I , tanto reactiva como condicionada a dicha respuesta). Siguiendo en esta línea conductista, el famoso psicólogo estadounidense B.F Skinner realizó importantísimas

contribuciones en la comprensión de los mecanismos del aprendizaje, que llevó a toda una "ingeniería conductual" que tan buenos resultados daría en la modificación de la conducta. El intenso trabajo de numerosos investigadores en este campo ha permitido descubrir otras importantes leyes, como la ley de Igualación de Herrnstein (1961), reformulada posteriormente como la ley de Preferencia, y que demuestran algunos de los principios fundamentales del comportamiento del ser humano que son compartidos con otras especies animales.

Los ejemplos anteriores podrían llevar a pensar que las leyes psicológicas se encuentran únicamente en procesos básicos, pero que es difícil –si no imposible– encontrarlas en lo que podríamos considerar procesos cognitivos típicamente humanos. Pues tampoco es así. El psicólogo y economista israelí Daniel Kahneman obtuvo en 2002 el Premio Nobel de Economía precisamente por su descubrimiento de pautas en la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre (algo con evidentes repercusiones prácticas en numerosas decisiones económicas), demostrando que es frecuente que los individuos se aparten de los principios básicos de la probabilidad y que el comportamiento humano no es tan racional como se había pensado inicialmente.

Incluso para dar cuenta de algunas de nuestras relaciones sociales se han encontrado importantes leyes. Tal vez una de las más influyentes sea la ley del Impacto Social de Latané (1981), la cual establece que:

$$I = F \times P \times N$$

Donde el impacto social (I) se explica como resultado del producto de la fuerza (F), la proximidad (P) y el número de personas (N) de la fuente de influencia, habiéndose demostrado que la influencia crece proporcionalmente a la raíz cuadrada del tamaño de la mayoría.

Algo tan aparentemente poco modelizable como es la conducta altruista, cuenta incluso con su formalización matemática. Originalmente propuesta por Hamilton (1964) establece que se dará una conducta altruista si se cumple que:

$$R \times B < C$$

Es decir, siempre y cuando el producto de la relación (R) entre beneficiario y benefactor por beneficio obtenido (B) sea menor que el coste (C) de la conducta altruista. Inicialmente el planteamiento se refería únicamente a relaciones de parentesco y era expresada en términos de proximidad genética, beneficio reproductivo y coste reproductivo, pues nació en el contexto de la Biología. Sin embargo, recientes investigaciones psicológicas han demostrado la aplicabilidad de este modelo en la mayoría de las relaciones humanas de cooperación.

Los ejemplos anteriores nos permiten darnos cuenta que existen pautas de conducta modelizables matemáticamente y que posibilitan, disponiendo de los valores y parámetros pertinentes, cómo se van a comportar las personas (Ruiz Soler y Pelegrina, 1996). En consecuencia, cuando se examinan los centenares de experimentos realizados en estos campos del comportamiento y se observa que existe un elevadísimo nivel de ajuste entre lo que predicen las leyes y los datos empíricos, todo apunta a que es posible extraer una primera conclusión:

Existen leyes del comportamiento humano

¿Podremos predecir el comportamiento humano?

Ante la conclusión anterior puede que haya quien se plantee con preocupación la pregunta anterior. La respuesta es un sí y un no a la vez. Me explicaré. Sin embargo, previamente es preciso introducir el concepto de modelo lineal.

Modelos lineales del comportamiento. Un modelo lineal puede definirse —simplificando— como aquel que trata de explicar una variable (el comportamiento en nuestro caso) como el resultado de la suma de una serie de factores cuyos valores incrementan (o disminuyen) proporcionalmente el valor de la salida (el comportamiento estudiado). Así, por ejemplo, si queremos saber qué determina que alguien compre o no un traje o un vestido esto podría calcularse como la suma (ponderada) de factores tales como: diseño, tejido, precio, "caída", originalidad, etc. La importancia que cada uno de estos factores tenga para una persona particular es algo que puede calcularse empíricamente (es lo que denominamos parámetros) e influirá en su valor final en la decisión (de compra en este caso). Así, para una

persona con escasos recursos económicos el precio será un factor muy importante, mientras que para una persona muy solvente, apenas tendrá influencia en su decisión. Este tipo de modelos se emplean para estudiar multitud de comportamientos, desde procesos perceptivos a procesos de interacción social, pasando por el amor humano o la inteligencia emocional. En realidad, la mayor parte de la investigación se centra en identificar cuáles son las variables relevantes para explicar cada fenómeno y el cálculo de su importancia relativa en distintas situaciones y grupos de individuos. Matemáticamente es lo que se conoce como explicaciones basadas en el modelo lineal general.

Modelos no lineales del comportamiento. Sin embargo, a poco que uno se pare a reflexionar sobre algunos fenómenos del comportamiento, se dará cuenta de que no siempre existe una proporcionalidad entre las respuestas del individuo y los estímulos que la provocaron. Una palabra fuera de tono puede provocar una reacción desproporcionada en el destinatario al igual que una ligera desviación en el trazado de una curva puede provocar un grave accidente de automóvil. Efectivamente me estoy refiriendo a eso que llamamos cambios cualitativos, de los que tantos podemos observar en la misma naturaleza (por ejemplo, una pequeña disminución en la temperatura transforma el estado líquido del agua en estado sólido). La importancia de la no linealidad ha sido recogida por la teoría del caos y popularmente difundida como "efecto mariposa", según el cual el batir de las alas de una mariposa podría llegar a provocar un tornado al otro lado del océano. Sin embargo, no se trata de algo nuevo, pues se encontraba ya recogida en la sabiduría popular con frases como "por un clavo se perdió un imperio" (pues el clavo era el último que sujetaba una herradura, la herradura era del caballo del general, el general cayó y no pudo dirigir a su ejército, perdiéndose así la batalla decisiva en la guerra y con ella el imperio).

Y bien ¿qué tiene esto que ver con la predicción del comportamiento humano? Pues la verdad es que mucho. Con la teoría del caos se ha visto que la no linealidad está más presente de lo que inicialmente se nos había hecho creer, pues resulta inherente a los fenómenos complejos (Ruiz Soler, 2002, 2004). Esto significa que muchos de los fenómenos del comportamiento humano son eminentemente no lineales (la percepción de algunas ilusiones ópticas, la generación de una nueva idea, el proceso de toma de decisiones en situaciones de incertidumbre, etc.). Los esfuerzos

de la Ciencia han posibilitado encontrar algunas de las ecuaciones que rigen el comportamiento de tales fenómenos, pero se trata de ecuaciones no lineales y con variables continuas (es decir, con infinitos valores entre dos cualesquiera, como sucede con el tiempo). Como es bien sabido, la medición de una variable continua implica siempre una cantidad de error. Por ejemplo, se puede medir el tiempo en horas, en minutos, en segundos, en décimas de segundo, pero siempre habrá un pequeño error. No importa lo precisa que sea mi medida, aunque disponga de unidades extremadamente precisas como microsegundos, nanosegundos o picosegundos; siempre habrá un componente de error. Y esto resulta de crucial importancia en la predicción del modelo porque ese error (la diferencia entre el verdadero valor y el valor registrado) puede cambiar completamente los valores de salida (las predicciones de nuestro modelo). Esto nos conduce, pues, directamente a nuestra segunda conclusión:

Existen leyes deterministas que no permiten una predicción exacta

Es importante advertir que esta limitación en nuestros sistemas de medida permanecerá para siempre, que no es una cuestión de esperar a avances científicos del futuro para poder superarla. Sólo sería posible con una medición sin error alguno en una variable continua y eso implicaría disponer de mediciones con precisión (literalmente) infinita, lo cual siempre nos resultará imposible. De este modo, hemos llegado a una conclusión que es científicamente compatible con dos posturas aparentemente contrapuestas: la de quienes defienden que el ser humano sigue leyes naturales, al igual que el resto de objetos/seres de la naturaleza y la de quienes defienden que es imposible predecir el comportamiento humano.

Nuestra tercera duda surge inmediatamente, como una cuestión mucho más profunda, no ya referida a lo que podemos conocer acerca del comportamiento sino al verdadero origen de éste. Si el comportamiento es el resultado de leyes naturales...

¿Qué espacio queda para la libertad humana?

Es ésta una pregunta muy seria, pues la existencia de leyes naturales que rigen el comportamiento en lo que consideramos más específicamente

humano podría llevarnos a pensar que en el fondo no somos más que autómatas biológicos que viven el espejismo de la libertad. Pensemos esto seriamente: la conducta humana es el resultado de nuestros procesos mentales (una imbricada conjunción de cogniciones y emociones), los cuales en cada instante de tiempo vienen determinados por la influencia de los estados anteriores y de la nueva información captada de nuestro entorno. Por ejemplo, si ahora estoy leyendo este capítulo ¿se debe a una decisión totalmente libre o más bien a una determinación inevitable provocada por mis estados mentales y en la cual no he sido realmente libre en la elección? Algunos sorprendentes experimentos parecen apuntar hacia un determinismo muy radical. Hace ya más de 20 años Benjamin Libet realizó experimentos en los que obtuvo un inesperado resultado: la actividad cerebral relacionada con el movimiento deliberado de un dedo era anterior (350 ms) a ¡la decisión de realizar ese movimiento! (sólo 200 ms antes). Recientemente (en 2008) tales experimentos han sido confirmados con técnicas de neuroimagen. Este desfase temporal en la conciencia parecería demostrar que nuestras decisiones no son más que epifenómenos de decisiones que nuestro cerebro ya ha tomado por su cuenta.

¿Qué decir ante esto? Aunque los hechos no son “lo dado absolutamente” que decían los positivistas, los hechos imponen tendencias inequívocas y, en este sentido, la acumulación de evidencias psicológicas y neurológicas hablan a favor del determinismo. Sin embargo, aun sin sospechar en ningún momento de los datos, es crucial advertir que la epistemología —esa rama de la filosofía que reflexiona sobre lo que podemos conocernos obliga a diferenciar entre los hechos y la interpretación de esos mismos hechos. Y es aquí donde todavía queda mucho por decir y por ello el debate se encuentra abierto y de plena actualidad en nuestros días. Las conclusiones que extraigamos de este debate no serán mero pasatiempo intelectual para mentes inquietas sino que a buen seguro tendrán importantísimas consecuencias teóricas sobre la concepción de nosotros mismos y, a su vez, prácticas acerca de cómo juzgar éticamente el comportamiento humano en diversas situaciones. Estoy convencido de que, una vez más, lo que ahora se nos plantea como una paradójica situación entre determinismo y libertad encontrará dentro de algún tiempo una contestación capaz de responder a este interesantísimo interrogante.

PARA SABER MÁS

Guillen, M. (2004). *Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo. El poder y la oculta belleza de las matemáticas*. Barcelona. Editorial DeBolsillo.

Marr, D. (1982). *La visión*. San Francisco. W. H. Freeman.

Pylyshyn, Z.W. (1986). *Computation and cognition*. Massachusetts. The MIT Press.

Ruiz-Soler, M. y Pelegrina, M. (1996). Modelización matemática en Psicología: Un recorrido histórico hasta nuestros días. *Revista de Historia de la Psicología* 17 (3-4): 317-324.

Ruiz Soler, M. (2002). Modelización y simulación de fenómenos dinámicos no lineales. *Metodología de las ciencias del comportamiento* vol. especial: 475-480.

Ruiz Soler, M. (2004). Aplicaciones de la ley de Zipf en la investigación psicológica. *Metodología de las ciencias del comportamiento* vol. especial: 715-722.

Salvador, F., Pelegrina, M. y Ruiz Soler, M. (Eds.)(1988). *Nuevas perspectivas metodológicas en procesos perceptuales y cognición*. Barcelona. Promociones y Publicaciones Universitarias.

ACERCAR la ciencia al ciudadano... éste es el objetivo principal de *Encuentros con la Ciencia*, un espacio para la presentación y diálogo sobre los más recientes y señalados descubrimientos científicos. Desde el año 2004 venimos organizando las actividades de *Encuentros con la Ciencia* con el objetivo principal de fomentar la cultura científica y presentar, de manos de sus protagonistas, los avances científicos actuales. La labor investigadora de los propios científicos españoles no es suficientemente conocida por el público. En nuestra opinión, resulta evidente la necesidad de dar a conocer la ciencia actual a los ciudadanos y, al mismo tiempo fomentar su interacción con los científicos. *Encuentros con la Ciencia* pretende cumplir tres objetivos específicos: **hacer accesible la ciencia** que se está desarrollando actualmente en los centros de investigación españoles, **sensibilizar al ciudadano** acerca de la importancia de la Ciencia en el día a día, e **implicar a la propia comunidad científica** en esa difusión del conocimiento.



* AMBITO cultural