

UD-1 LA CIÈNCIA



Què és la ciència ?

Carlos Chordá

Extret del llibre "Ciencia para Nicolás"

Buena pregunta, me dirás. Al fin y al cabo, hemos dedicado todo el capítulo anterior a analizar un montón de términos y sus definiciones, incluyendo unas cuantas disciplinas científicas. Y resulta que todavía no he definido la palabra *ciencia*, sobre la que, en definitiva, da vueltas el contenido de todo el libro. Esto se debe principalmente a que no es sencillo definir por completo la ciencia en unas pocas palabras sin que queden reflejados en la definición tanto la sencillez de sus fundamentos como el rigor que exige a quien se dedica a la investigación científica. Por otro lado, lo habitual es que todo el mundo sepa de una forma aproximada que es la ciencia (de hecho, cuando termina la enseñanza obligatoria, todo estudiante ha asistido a cientos de horas de clase lo que se llaman ciencias naturales), aunque si preguntáramos a nuestro alrededor **muy poca gente, incluyendo a la mas instruida, seria capaz de definirla correctamente**. Así que permíteme, Nicolas, que vayamos poco a poco.

Preguntas que la ciència
soluciona

Todos los días amanece y oscurece, en un ritmo diario que además forma parte de un ritmo anual en el que cambia día a día la duración de las horas de luz y oscuridad. Si sueltas una piedra que estabas sujetando a una altura determinada, caerá verticalmente. Si acercas una cerilla encendida a una hoja de periódico, esta arderá, pero si la introduces en un vaso de agua se apagará. Y así un buen puñado de ejemplos. Si te paras a pensar un poco, verás que este comportamiento de la naturaleza permite que adivinemos, al menos en algunos casos, lo que va a suceder: la naturaleza es -aunque no siempre- predecible. Y nosotros, los seres humanos, tenemos en el interior de nuestros cráneos el que quizás es el instrumento más complejo y poderoso que existe en el universo para comprender la naturaleza y sus regularidades: el cerebro.

El problema es que nuestro cerebro existe como tal como resultado de un proceso de evolución biológica que ha durado millones de años, lo que implica que está adaptado para favorecer la supervivencia del ser humano en sus condiciones naturales. Y por condiciones naturales tenemos que entender -y así ha sido durante la mayor parte del tiempo en que ha habido seres humanos- que cada persona pertenece a una tribu formada por no muchos individuos, casi siempre emparentados entre sí, en franca competencia con las tribus más cercanas; que su sustento no está asegurado en lo más mínimo (la comida hay que cazarla o recolectarla); y que es una posible presa de seres más rápidos, más fuertes y con sentidos mucho más agudos.

Estas condiciones son las que han conducido a la aparición de nuestro cerebro tal y como es en la actualidad (por cierto, básicamente igual que hace más de 100.000 años). En tales circunstancias el cerebro humano funciona perfectamente con una cualidad llamada *intuición*. Gracias a la intuición los miembros de una tribu podían adivinar si la jauría de carnívoros que bloqueaba su paso al río tenía o no los estómagos llenos y así elegían entre dar un largo rodeo o continuar. También con la intuición decidían no pernoctar en una cueva junto al cauce de un río en una noche de tormenta,

evitando morir ahogados. Es incluso posible que la intuición les indicara que ante un fruto rojo desconocido lo mejor era que lo probara un miembro de la tribu, apenas un bocado, y que comprobaran cual era la evolución de la salud del valiente ... En definitiva, la intuición les ayudaba a responderse a preguntas como: son peligrosas ahora esas fieras?, ¿puedo cobijarme en ese agujero?, es comestible ese fruto rojo ?

Més preguntes que es planteja la ciència

Sin embargo, en los últimos siglos nuestro entorno ya no es el entorno natural de nuestros predecesores. Con el desarrollo de la ganadería, y sobre todo de la agricultura, y con la creación de las ciudades, otra cualidad humana tuvo vía libre para su expansión: la curiosidad. A partir de esos cambios las personas (quiero decir, algunas personas) comenzaron a hacerse preguntas respecto a lo que les rodeaba y respecto a si mismas, ¿Que es un rayo? ¿Por que aparecen las enfermedades? ¿Que es el Sol y por que cruza el cielo de esa manera ? ¿Por que lloramos? ¿Por que se alternan las estaciones a lo largo del año ? ¿Por que las personas envejecen y mueren? ¿A que distancia están las estrellas?

La intuición, que tan bien se adapta a la mera supervivencia, no es nada útil a la hora de tratar de responder a estas preguntas. Quizás llegues a dudar de esta afirmación, y te aseguro que eso es lo natural, porque la evolución ha grabado en nuestro cerebro que la intuición es una buena herramienta para superar problemas, para responder preguntas.

La intuició sovint falla

Si nadie te hubiera hablado de ello, seguro que dirías que la Tierra es inmóvil, y que el Sol, la Luna y las estrellas giran en torno a nosotros una vez al día (aunque, si no sueles fijarte en el cielo, sobretudo en el nocturno, tal vez te hubieras quedado con la primera afirmación). Lo cierto es que la Tierra no solo se mueve, sino que gira entorno a si misma a una velocidad que en el ecuador supone casi 1.700 kilómetros por hora, velocidad que supera la del sonido en el aire. También dirías que la Tierra es plana, cuando es una esfera -no del todo perfecta- de algo mas de 12.000 km de diámetro. Puede incluso que pienses que un objeto cae tanto mas deprisa cuando mayor es su peso; en este caso te sugiero que dejes caer un folio tendido y, tras observar la rapidez de la caída, lo arrugues formando una bola y repitas tan sencillo experimento. Si su peso no ha variado (la cantidad de materia es la misma, así que su peso también), ¿por que tarda menos en llegar al suelo desde la misma altura? ¿La respuesta esta en que la atmósfera interfiere frenando mas a unos cuerpos que a otros, pero sin ella caerían de idéntica manera una pluma que un ladrillo. Es muy probable también que opines que todo lo que se mueve se parara antes o después, aunque la verdad es que todo lo que se mueve seguirá haciéndolo eternamente si nada lo impide.

Cuando tomes un refresco con unos cubitos de hielo puedes llegar a pensar que el vaso tiene poros que dejan rezumar algo de su contenido, ya que se humedece por fuera. Otra vez se trata de un error: ese liquido que humedece el vaso no sale de su interior, sino que es agua que estaba, invisible, en el aire de la habitación.

Y sin soltar el vaso: ¿que opinas de añadir hielo para enfriar el refresco? Pues si, otra vez hay un fallo: el hielo no enfría al refresco, sino que, al contrario, el refresco calienta al hielo, con lo que de esta manera se reduce su temperatura. Si alguna vez apuestas (no te recomiendo que lo hagas) a

Fer l'experiment de la moneda a classe

adivinar si sale cara o cruz, no des por hecho que tras seis caras seguidas la séptima será cruz, porque ya toca. Cada vez que se lanza la moneda la probabilidad es 50% cara y 50% cruz, sin que la moneda pueda recordar lo sucedido en los lanzamientos anteriores.

Fer-lo a classe

Para terminar con esta lista de ejemplos te voy a proponer un juego matemático clásico. Nicolas, imagina que tienes un hilo y con el rodeas una moneda, ajustando el hilo todo lo que puedas. Ahora imagina que con otro hilo rodeas de la misma manera a la Tierra por el ecuador. El siguiente paso es alargar en un metro cada uno de los dos hilos. Y ahí va la pregunta: ~cual de los dos se separa mas del objeto que rodea? Te aseguro que mi cerebro se empeña en que se separa mucho mas el hilo que rodea la moneda que el que abarca la Tierra. Encontrar la respuesta correcta no es nada difícil y puedes hallar las fórmulas matemáticas que conducen a ella también al final de este libro, en el Anexo 3.

La separación es, en ambos casos, de unos 0,16 metros. Es evidente, ahora que lo hemos comprobado, pero no antes, con la mera intuición, que la separación entre la circunferencia inicial y la que mide un metro mas es independiente del radio. Puedes comprobarlo con objetos reales, como una moneda y un bidón, y a pesar de todo el cerebro seguirá dudando. Personalmente, me cuesta creer que el razonamiento sigue siendo valido para una circunferencia tan grande como el universo!

En todos estos casos estamos llegando a conclusiones erróneas porque utilizamos la intuición. De todas formas, errores de este tipo no son especialmente graves en la vida cotidiana: el refresco esta mas frío independientemente de que conozcamos con exactitud lo que lo provoca y el folio continua cayendo mas deprisa cuando hacemos con el una pelota (y no parece que la atmósfera vaya a desvanecerse un día de estos). Sin embargo, si la humanidad no hubiera desarrollado un método que permitiera zafarse de esta limitación, el mundo no estaría hoy mucho mas avanzado tecnológicamente que en la época de los antiguos griegos o de la Edad Media europea. Quizá hayas llegado a la conclusión de que ese método rechaza la intuición, y en ese caso te equivocas. No la elimina, sino que la supera. Utiliza la intuición para proponer explicaciones, pero va mas allá: utiliza ademas la experimentación, es decir, la comprobación, para así aceptar o rechazar la explicación propuesta para el fenómeno observado. Como adivinaras, este método es lo que conocemos como ciencia.

No creas que tardo poco en aparecer. El pueblo mas avanzado -en cuanto a método- de la Antigüedad, el griego, fue el primero en superar la fase de los mitos. **Hasta entonces, las explicaciones propuestas para los fenómenos naturales formaban parte casi siempre del mundo de lo sobrenatural.** Ante una tormenta, estaba muy claro que los dioses estaban enfadados entre si o peor aun, con los mortales y por eso reaccionaban con tan terrible violencia. Las cosechas, las enfermedades, el ciclo de las estaciones, los vientos, todo lo que les afectaba era explicado mediante una mitología espléndida. No esta en absoluto olvidada esa mitología, bien sea en forma de literatura la de Homero, por ejemplo), en otras expresiones artísticas como la pintura y la escultura, o incluso en manifestaciones que en buena lógica deberían haber sido superadas, como la astrología.

Como te decía, fueron los griegos los primeros en proponer que los fenómenos naturales podían explicarse a partir de causas naturales. Para ello partían de una serie de *axiomas* o verdades evidentes, lo que constituía un armazón en el que insertar las explicaciones con las que trataban de desentrañar como es la naturaleza. Esto supone un avance respecto a la mitología, pero tiene dos defectos: el primero es que los axiomas son tomados como verdades sin haber sido comprobados, por lo que se apoyan exclusivamente en la intuición, que, como has visto, no nos asegura llegar a la verdad (uno de estos axiomas era que cuanto mayor era el peso de un cuerpo, mayor era su velocidad de caída). Y el segundo defecto se llama principio de autoridad, un freno importantísimo para el avance de las ideas: las afirmaciones realizadas por los grandes pensadores, como Ptolomeo o Aristóteles, eran totalmente incuestionables.

El mètode científic acaba amb els axiomes i el principi d'autoritat

El principio de autoridad que emanaba de los grandes autores griegos estuvo vigente hasta la aparición de Galileo, a quien podemos considerar como el primer científico de la historia. Galileo vivió a caballo entre los siglos XVI y XVII. La leyenda cuenta de él que dejó caer desde lo alto de la torre de Pisa dos esferas de distinto peso simultáneamente: ambas llegaron al suelo a la vez, por lo que de esta forma tan sencilla terminó con la física aristotélica. La revolución había llegado de la mano de la experimentación. A partir de entonces comenzó a aplicarse el método científico, que consiste en cinco fases: observación, proposición de hipótesis, experimentación, análisis de los resultados y establecimiento de una ley.

Els nostres sentits només capten un determinat rang d'estímul

Percibimos lo que nos rodea mediante los órganos de los sentidos. Los fenómenos que se producen en el medio que nos rodea, que pueden ser captados por los sentidos, se llaman estímulos. Así que simplemente poniendo un poco de atención a nuestras sensaciones podemos comenzar a preguntarnos por que las cosas son como son. Ya ha aparecido la actitud necesaria para que podamos hablar de observación: la atención. De la misma manera que no es lo mismo ver que mirar, ni oír que escuchar, no es lo mismo captar sensaciones que observar. Fíjate, Nicolas, que estoy utilizando la palabra "observar" en un sentido amplio: mirar con detenimiento las ondas generadas por una piedra en la superficie de un estanque, palpar con cuidado la rugosidad de un material, escuchar atentamente el canto de un pájaro y apreciar la temperatura del agua de un manantial serían buenos ejemplos de observación.

Pero nuestros órganos de los sentidos tienen limitaciones. Por ejemplo, captamos la luz porque su longitud de onda se halla comprendida entre ciertos valores. No detectamos nada si las ondas están fuera de ese rango de longitudes, como sucede con la radiación ultravioleta o las ondas de radio. De hecho, somos completamente ciegos ante la gran mayoría de ondas electromagnéticas, que incluyen ultravioleta, ondas de radio, luz y muchas otras. Pero incluso dentro de la gama detectable por nuestros ojos, no valen todas las intensidades. Si hay poca luz, puede llegar a ser inútil para nuestro propósito mientras que si es excesiva puede cegarnos, incluso definitivamente. Y lo mismo podríamos decir del resto de los sentidos: son sensibles a ciertas gamas de estímulos, y para determinadas intensidades. Por si fuera poco, existen factores que pueden distorsionar las observaciones, desde defectos en los órganos, como la miopía o la sordera, a factores externos, como los espejismos o las alucinaciones, o provocadas por el consumo de una droga.

Y todavía hay limitaciones mas importantes para nuestra percepción: existen determinados fenómenos que por su naturaleza son totalmente indetectables por el ser humano, como el magnetismo. Por suerte hemos sido capaces no sólo de fabricar instrumentos que mejoren la capacidad de percepción (es decir, la resolución) de los sentidos, como el microscopio, que permite ver objetos mas pequeños que a simple vista, sino incluso instrumentos que captan fenómenos que escapan a nuestros sentidos, como la brújula, que detecta las líneas del campo magnético terrestre.

Si al principio pensabas que observar era algo sencillo, es probable que comiences a desengañarte. Pues aun puede presentarse otra dificultad. En muchos casos la mera presencia del observador interfiere con el fenómeno que queremos estudiar. Un caso evidente se produce cuando se trata de investigar el comportamiento de los animales, sobre todo si se trata de animales digamos superiores, como los vertebrados. Si pretendes observar cómo maman unos lobeznos bien nacidos, es posible que te tengas que acercar tanto que pongas en peligro tu vida. La opción de retirarte a una distancia prudencial mejora tus expectativas de permanecer indemne, pero entonces la observación ya no es posible, a menos que dispongas de un telescopio. Y que te voy a decir si el sujeto que queremos observar es un ser humano. Basta con que uno este en la consulta del Centro de Salud para que aumente su presión sanguínea de forma involuntaria. Esto es algo conocido por los sanitarios, por lo que, cuando lo estiman oportuno, vuelven a medirla unos minutos mas tarde.

Llistat de fenòmens a estudiar per la ciència.

Teniendo todo esto en cuenta, ¿que cosas son susceptibles de ser observadas? Simplemente, todo aquello que forma parte del universo o el universo en su conjunto. Nada mas y nada menos. Y que es el universo? La palabra *universo* tiene el mismo origen que *uno*. El universo es lo único, es la totalidad de las cosas físicas. Eso es el objeto de estudio de la ciencia, desde cualquier ángulo posible: el movimiento de los astros, la maduración de un fruto, la estructura del átomo, el interior de la Tierra, el efecto de un tóxico, la causa de la lluvia, la evolución de la vida, la mente humana, la naturaleza de la luz, el parasitismo, la salud de los océanos, la química de la respiración, el desarrollo de los embriones, la edad del universo, la sexualidad humana, la biodiversidad, las combustiones, el color de la piel, la acidez, la temperatura del universo, las emociones humanas, el sida, el agujero de ozono, la fotosíntesis, la resistencia de los materiales, la vida extraterrestre, la radiactividad, las conductas antisociales, el arco iris, la probabilidad de que un asteroide impacte contra nuestro planeta, la fauna de la Antártida, la percepción visual, las adicciones, la corriente eléctrica, el vuelo de las libélulas ... La lista es interminable.

Junto con una cuidadosa observación del universo o mas frecuentemente, de parte de él es inevitable que nos vengan preguntas a la mente, que deseemos conocer el porque de las cosas. Y ante esas preguntas, podemos proponer posibles respuestas. En ciencia, a estas posibles respuestas se les llama hipótesis.

Segunda fase: proposición de hipótesis

"Jose Arcadio Buendía pasó los largos meses de lluvia encerrado en un cuarto que construyó en el fondo de la casa para que nadie perturbara sus experimentos. Habiendo abandonado por completo las obligaciones domésticas, permaneció noches enteras en el patio vigilando el curso de los astros, y estuvo a punto de contraer una insolación por tratar de establecer un método exacto para encontrar el mediodía. [...] De pronto, sin ningún anuncio, su actividad febril se interrumpió y fue sustituida por una especie de fascinación. Estuvo varios días como hechizado, repitiéndose a sí mismo en voz baja un sanal de asombrosas conjeturas, sin dar crédito a su propio entendimiento. Por fin, un martes de diciembre, a la hora del almuerzo, soltó de golpe toda la carga de su tormento. Los niños habían de recordar por el resto de su vida la augusta solemnidad con que su padre se sentó a la cabecera de la mesa, temblando de fiebre, devastado por la prolongada vigilia y por el encono de la imaginación, y les reveló su descubrimiento: la tierra es redonda como una naranja".

Tòpics dels científics

He seleccionado este fragmento de la genial *Cien años de soledad* de Gabriel García Márquez porque me parece que nos ilustra muy bien sobre lo que no es un científico, aunque podría parecerlo a los ojos de un profano. El comportamiento excéntrico, la mente perdida, la obsesión con un asunto concreto y la indiferencia ante el resto de la realidad son los tópicos con que pintan a los científicos en no pocas películas y series de televisión, lo que no es en absoluto cierto. Los científicos son gente de lo más normal, interesados por su trabajo, por supuesto, pero generalmente implicados además en sus familias y en la sociedad y con aficiones de lo más variadas. Como todo el mundo, vamos. Pero no es a esto a lo que me refiero. La época en la que se desarrolla el argumento de *Cien años de soledad* es muy posterior a la certeza de que nuestro planeta es esférico (circula la idea equivocada de que dicha certeza se adquirió a partir de las hazañas de Colón, cuando lo cierto es que en la Grecia clásica no sólo se conocía la forma de la Tierra, sino que se determinó con mucha exactitud su tamaño), por lo que el esfuerzo del bueno de Jose Arcadio se revela inútil. Un científico no propone una hipótesis ante un problema sin antes asegurarse de que dicho problema no ha sido previamente resuelto. En la actualidad la ciencia es una actividad muy fragmentada en numerosas disciplinas, y habitualmente los científicos se dedican en exclusiva a una de ellas, e incluso a un aspecto muy particular de ella. Y como parte de su trabajo consultan frecuentemente todo lo que sus colegas publican como resultado de sus investigaciones en las revistas especializadas en el área en cuestión. De hecho, estas revistas son tan especializadas que sólo las leen quienes trabajan en esas áreas (son casi los únicos que entienden lo que en ellas se dice), no se venden al público en los quioscos, sino que se reciben por correo en las universidades y en los centros de investigación, y la mayoría de ellas y desde luego las más prestigiosas se publican sólo en inglés.

Abans de fer una hipòtesi cal assegurar-se que el problema no s'ha resolt abans.

Sentit de les revistes d'investigació

Aunque parezca mentira, la cantidad de artículos que se publican de cada disciplina es tan inmensa que estos comienzan con un párrafo en el que se resume el contenido de todo el artículo y casi siempre eso es lo único que se lee (y a veces ni siquiera eso, sino sólo el título, por lo que este se redacta de manera que sea un resumen todavía más breve del artículo). De

no ser así, a los investigadores no les quedaría tiempo para investigar. Y aun así, un científico novato que se incorpora a un laboratorio necesita generalmente unos cuantos meses para estar medianamente al día y comenzar en serio a hacer investigación científica, aunque todavía con poca ayuda de algún colega veterano. Así que no se investiga sobre lo que ya se sabe, y puedes creerme si te digo, Nicolas, que cuando los componentes de un equipo investigador -hoy la ciencia es labor de equipo- se topan con un artículo que muestra que otro equipo les ha pisado su idea y se les ha adelantado en la publicación de las conclusiones no les hace la más mínima gracia.

Requisits de les hipòtesis

Una vez se acota un hecho todavía inexplicado o explicado de forma insuficiente hasta la fecha -todos los hechos son susceptibles de ser mejor explicados-, se propone una hipótesis, una posible explicación. Pero, atención, no todas las hipótesis son científicas. Para ello tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Tiene que referirse a un hecho propio del universo, como te he señalado anteriormente. No podemos plantear una hipótesis sobre la facultad de vuelo de los renos que arrastran el trineo de Papa Noel, por razones obvias.
- Ha de formularse de la forma más sencilla y precisa posible, de manera que en ella no haya contradicciones.
- Y; no menos importante, las respuestas posibles ante la hipótesis sólo pueden ser si (si la hipótesis era correcta) o no (si no lo era).

Estas condiciones exigen que una hipótesis tiene que poder ser refutada. Si no es así, no es una hipótesis científica. Y; por supuesto, es quien la plantea el que está obligado a demostrar que la afirmación es correcta: sería de mal gusto que esa persona anduviese exigiendo a los demás que demostraran que ella no tiene razón.

Tercera fase: experimentación

Una vez que se ha propuesto la hipótesis, toca ponerse la bata Comienza la fase de experimentación, que es la que está en la mente de la gente cuando piensa en el trabajo de los científicos, como si el resto de las fases no existieran. La experimentación consiste en una observación de alto nivel, en una observación muy distinta a la de la primera fase. Ahora la observación está controlada por el científico, al menos todo lo controlada que puede. Pero ... espera, he dicho que -comienza la experimentación? En realidad, todavía no.

Disseny experimental

Antes de comenzar con un experimento hay que diseñarlo. Y cómo el experimento está pensado para comprobar la validez de la hipótesis, tiene que ser planteado de manera que pueda ser repetido en las mismas condiciones por otros investigadores. Lo primero que hay que hacer es determinar las variables que forman parte del fenómeno que se va a estudiar. Estas variables, o magnitudes, son cualidades que pueden ser medidas, que son cuantificables. Cada magnitud tiene que ser medida con un aparato determinado, por lo que es necesario provisionarse de cuantos instrumentos de medida se vaya a necesitar. Hay que tener en cuenta las cualidades

del instrumento, de manera que para ese experimento en particular hay que determinar cómo mínimo la sensibilidad, precisión y fidelidad que se le va a exigir. La sensibilidad se refiere a la mínima cantidad que puede ser detectada, la que hace que el instrumento ya no marque cero; la precisión es la mínima variación que puede determinar el instrumento sin que haya un error; y la fidelidad hace referencia a que al repetir una misma medida, la variación debe ser la menor posible.

Control de variables

El paso siguiente consiste en aislar el fenómeno a estudiar. Es decir si se puede meter el fenómeno en un laboratorio el control será mayor. De esta manera se evitan interferencias indeseables que podrían dificultar el proceso de medición. Por ejemplo, si se quiere analizar algo relativo a la reproducción de una especie de escarabajos, resulta muy útil disponer de un criadero de escarabajos donde se controle su alimentación, o la temperatura de su entorno, o las horas de luz y oscuridad, o cualquier otra variable que se haya considerado. Desde luego, el control de estas magnitudes es mucho mayor que en las condiciones naturales, dada la tendencia de los bichos a huir, o a ser capturados por otros, o a comer lo que puedan dentro de lo que para ellos es comestible ... Pero no siempre es tan sencillo: el aislamiento es mucho mas difícil si en lugar de los escarabajos pretendemos aislar una población de tiburones o de cóndores de los Andes. I definitivamente, es imposible en el estudio de los volcanes, o en el del movimiento de los astros, o en cosas por el estilo.

Models informàtics

Cuando el fenómeno no puede ser aislado, la única opción es medir las variables directamente en la naturaleza: no se puede meter el planeta Júpiter entre cuatro paredes. Aunque hay que señalar que hoy en día los científicos disponen de una herramienta extra para aislar los fenómenos que no se pueden aislar. Me explico: se trata de aislarlos virtualmente, usando ordenadores. Por supuesto, no podemos asegurar que en estas recreaciones la exactitud sea total, pero suponen una buena aproximación a la realidad. La vertiginosa progresión que se ha producido en el campo de la informática ha proporcionado a los científicos la posibilidad de imitar todo tipo de fenómenos con una ventaja añadida: se puede acelerar o frenar los procesos a voluntad, de manera que se ha hecho frecuente comprimir en un video de unos pocos minutos un proceso que dura miles de años, o recrearnos en contemplar detenidamente lo que no podemos captar por su breve duración. Además, nada impide modificar en el ordenador variables que no se pueden modificar en la realidad. De esta manera se puede analizar, por ejemplo, como cambiaría el clima si la temperatura media terrestre aumentara 5C° (aunque, como ejemplo de variable que no podemos manipular, no es desgraciadamente el mejor). En definitiva, la informática es una herramienta imprescindible para todas las disciplinas, independientemente de lo factible que sea aislar los fenómenos que estudian. Cuando ya está todo preparado, hay que medir y medir y medir.

Tamanyls mostrals

Cuantas mas veces, mejor. Esta, puedes suponerlo, es la parte mas aburrida de todo el proceso. Sobre todo porque lo que se mide tantas veces es, aunque te parezca sorprendente, la misma cosa. Esto permite que se pueda hacer un tratamiento estadístico. Creo que te resultara fácil de entender si piensas en una encuesta que se realiza en un país ante unas próximas elecciones generales, por ejemplo. Que opinarías de una encuesta en la que se ha entrevistado a cinco personas? Y si se ha entrevistado a mil? Y a cincuenta mil? Supongo que adivinas que cuanto mayor es el nu-

mero de entrevistados, mas fiable es la respuesta. Así es. Es un hecho comprobado que, en estos asuntos, cuanto mayor es el numero de casos analizados, mas nos acercamos al comportamiento del conjunto de casos. o dicho de una manera mas técnica, conforme mayor es el tamaño de la muestra, mejor representa a la población y se consigue un parecido mas significativo.

En la mayoría de los experimentos no es una encuesta lo que se está haciendo, así que te estarás planteando que sentido tiene la repetición. El sentido está en que es imposible tomar las medidas sin que aparezca un cierto grado de error, error que tiene dos orígenes: el experimentador y el instrumento de medida. Quien tiene que tomar el dato que indica el instrumento es una persona, y por tanto es falible. Puede que no conozca todo lo que debería el manejo del instrumento o puede despistarse en un momento dado y ver un tres donde hay un cinco, o apuntar un dígito menos o puede incurrir en un error clásico llamado de paralaje: si el instrumento es del tipo de reloj analógico (de los de siempre, de esfera con agujas) y las agujas están ligeramente separadas del disco del fondo es necesario mirar bien de frente o el error esta asegurado. Esto lo puedes comprobar fácilmente con un reloj grande de cocina. También se producen errores de paralaje con instrumentos como probetas, reglas transparentes, termómetros de mercurio, etc. Los errores cometidos por el científico deben reducirse con un buen entrenamiento y manteniendo siempre la máxima atención. La segunda Fuente de error es el propio instrumento de medida.

Generalmente cuanto mayor es su complejidad (y los hay enormemente complejos), mas fácil es que de problemas. Habitualmente, un instrumento requiere un mantenimiento periódico, una puesta a cero frecuente, un manejo cuidadoso y una limpieza escrupulosa. Así que, poniendo mucha atención durante la medida y manteniendo el instrumento en orden, el error esta controlado pero no desaparece por completo. De ahí la repetición. Se aumenta el tamaño de la muestra, lo que nos aproxima a la realidad: en cierto modo estamos haciendo una encuesta a la naturaleza.

Control de les variables

El proceso exige que se analicen las variables una a una manteniendo constantes las demás, al menos en una primera fase. Por ejemplo, si quisieras determinar si en la velocidad de caída de los cuerpos influyen la forma, el color y el peso del cuerpo y la altura desde la que cae, deberías medir la velocidad de llegada al suelo de un mismo cuerpo que cae desde distintas alturas (y medir varias veces para cada altura). Después, sin variar ni la altura, ni la forma, ni el peso, ir midiendo la velocidad cambiando el color del objeto en cuestión ... Supongo que lo captas. A continuación podrás combinar cambios en dos o mas variables a la vez, pero será muy difícil que obtengas información del experimento si lo haces solo así.

Control negatiu

Otro requerimiento imprescindible en muchos tipos de experimentos consiste en incluir lo que los científicos llaman control negativo o experimento control. Imagina que quieres determinar el efecto de un nuevo abono sobre el crecimiento de las petunias en los quince primeros días tras la germinación. Ya sabes que conviene repetir la medida, por lo que deberías sembrar un buen puñado de semillas para medir todas las plantitas pero, que valor tendrían tantas medidas, tomadas ademas con todo cuidado, si no tuvieras con que compararlas? La solución consiste en sembrar una buena cantidad de semillas idénticas a las otras, y tenerlas exactamente en las

mismas condiciones de luz, temperatura, humedad, ausencia de malas hierbas y parásitos animales, etc. En las mismas condiciones salvo en una: a este grupo de plantas no le debes proporcionar el abono que estas investigando. Este es el grupo control, que tiene que ser sembrado, regado, etcétera, a la vez que el otro. La medida la debes tomar en los dos grupos, con el mismo cuidado y, por supuesto, en las mismas condiciones. Una vez tienes los resultados los compararas usando la estadística. Aplicada esta correctamente, averiguaras si hay diferencias significativas entre ambos grupos o, lo que es lo mismo, si el abono funciona y aumenta la talla de las petunias o no.

Finalmente, a la hora de apuntar los resultados hay que tener en cuenta que se deben expresar correctamente, ya que la precisión esta limitada por el aparato de medida. Imagina que determinas la masa de una docena de naranjas con una balanza de las que se utilizan en los comercios. Supón que esa balanza tiene una precisión de 1 gramo, y que indica que la masa de tus naranjas es de 1.547 gramos. Significa eso que la masa de las naranjas es exactamente la que indica? Piensa que si con la uña arrancas de una de ellas un trocito muy pequeño de su corteza, lo mas probable es que siga indicando 1.547 gramos, a pesar de que la masa de las naranjas se ha reducido. Si hubiéramos usado una balanza mucho mas precisa, capaz de detectar variaciones de 1 miligramo, quizá la masa de las naranjas hubiera arrojado una medida de 1.546,788 g. Y es mucho mas probable que se hubiera reducido la medida tras el arañazo a la corteza. El uso de una balanza de mercado mayorista con una precisión de 100 g indicaría que la masa de nuestras naranjas es de 1.500 g. Esta claro que si las naranjas son las mismas, su masa también lo es. Pero el instrumento de medida, no.

Es evidente que, igual que en las transacciones comerciales, cuando se plantea un experimento científico no siempre se requiere la misma exactitud. Seria absurdo medir la altura de un árbol con la precisión necesaria para la longitud de una bacteria (eso si, hay que poner el mismo cuidado en ambos casos). Nadie en su sano juicio determinaría que la altura de un árbol es 17,484538 m (medida con 10 cifras significativas), sino mucho mas probablemente 17,5 m (tres cifras significativas). Así que esto de las cifras significativas tiene mucho que ver con el redondeo. Se trata de usar la lógica, no como en el chiste aquel del centinela del fuerte que alarma a todos con el grito de "capitán, vienen unos diez mil dos indios!" a lo que el capitán le pregunta "como que unos diez mil dos?" "Bueno, vienen dos delante y unos diez mil detrás".

Si en la vida diaria usamos el redondeo de forma habitual (no he oído decir a nadie que son las once y un minuto y catorce segundos, sino que son las once), en los experimentos científicos se hace siempre porque no se puede hacer de otra manera. Te has dado cuenta de que la autentica masa de las naranjas del ejemplo podría ser algo así como 1.546,78807991805 ... g? Así que al medir se esta redondeando. Lo que sucede es que el método científico exige que eso no se olvide.

Como ya te he comentado, la experimentación, y por tanto la recogida de datos, tiene como objetivo comprobar la validez de la hipótesis. Pero una lista numérica aporta poca información si no la hacemos mucho mas visual: se hace imprescindible hacer representaciones gráficas a partir de los

datos experimentales. Una gráfica permite deducir de un vistazo el comportamiento de una variable respecto a otra.

Durante el experimento se ha ido modificando de forma controlada una variable o magnitud, y midiendo la respuesta de otra magnitud ante ese cambio. La magnitud controlada por el experimentador se llama variable independiente, y la que se va midiendo conforme se modifica, variable dependiente (en muchos casos la variable independiente es el mero transcurrir del tiempo: en este caso no es exacto que pueda ser modificado por el experimentador, pero es muy fácil tomar medidas en los tiempos que interese). La gramática puede ayudarte a averiguar cual es la variable dependiente y la independiente: en general aparecerán en este orden en las oraciones.

Si medimos la altura de las petunias a lo largo del tiempo, la altura (longitud) es la variable dependiente; y el tiempo, la independiente. Si en el experimento hemos utilizado distintas concentraciones de abono, mediremos la altura según (o "en función de", pues estas relaciones son funciones) la concentración de abono: la altura sigue siendo la variable dependiente, ahora la independiente es la concentración de abono. Los datos obtenidos durante la experimentación se colocan en columnas, poniendo a la izquierda la variable independiente y a la derecha la dependiente, de manera que horizontalmente se leen parejas de valores.

Representació
gràfica de les
variables depen-
dents i indepen-
dents.

La información almacenada en las tablas se representa finalmente en forma de gráficos. La representación gráfica mas utilizada es la de coordenadas cartesianas, llamada así en honor del filosofo y matemático Descartes, que fue el primero en utilizarlas. Los ejes de coordenadas son dos rectas perpendiculares. Llamamos eje de abscisas a la recta horizontal y eje de ordenadas a la vertical (se suelen denominar ejes X e Y, respectivamente). En abscisas se representa la variable independiente; en ordenadas, la variable dependiente. El punto de corte de ambos ejes, el origen de coordenadas, es el lugar que representa el valor cero de cada variable, o lo que es lo mismo, sus coordenadas son (0,0). Por convención se representan los valores positivos de las magnitudes desde el origen hacia la derecha en el caso de la variable independiente y hacia arriba en el de la dependiente. Cada par de valores medido durante la experimentación es el par de coordenadas que determina el punto del plano en el sistema de ejes.

Ala hora de diseñar la gráfica es necesario tener en cuenta una serie de requisitos. En cada eje se indica la magnitud representada y la unidad de medida en que se gradúa, ya que si no es así se perdería una información imprescindible para la interpretación del fenómeno. La escala no tiene que ser necesariamente la misma en ambos ejes; eso sí, la escala decidida en cada eje es invariable a lo largo de toda su longitud. Para que la gráfica proporcione el máximo de información debe cuidarse que la graduación de los ejes se extienda entre los valores mínimos y máximos obtenidos durante la experimentación. Si la petunia mas alta mide 32 cm es absurdo graduar el eje hasta los 100 cm, ya que la gráfica quedaría aplastada. En este caso una buena opción seria graduar el eje hasta los 35 cm.

Y quinta fase: el establecimiento de la ley científica.

Una vez que el experimentador ha confirmado que la hipótesis que creyó válida lo es realmente, ya puede enunciar la ley científica.

Llei Una ley científica es un enunciado que expresa, de la forma mas precisa posible, las regularidades observadas con relación a un fenómeno. Si se ha podido obtener, la formula matemática deducida en la fase anterior es una forma de expresar la ley científica. Un ejemplo es el descubrimiento de como los cuerpos se atraen entre si, producto -uno entre otras de enorme calidad- del genial Newton:

$F = G \cdot m \cdot m' / d^2$, siendo F la fuerza de atracción entre las masas m y m', d la distancia entre ellas y G una constante conocida como *constante de la gravitación universal*. No se puede exigir mas precisión, pero como somos seres muy verbales, las leyes se suelen enunciar ademas mediante palabras. De esta manera, la ley anterior se suele expresar también así: "la fuerza de atracción entre dos sistemas materiales es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa".

Supongo que estarás de acuerdo conmigo en que ante una ley como esta hay que comprender que el científico se tome unos días de vacaciones. Sin embargo, el trabajo continua: esa ley encaja, junto con otras leyes referidas a fenómenos relacionados entre sí, en lo que se conoce como *teoría científica*. Una teoría científica es un conjunto de leyes científicas relacionadas entre si que dan lugar a unos principios generales. Las teorías científicas, por tanto, relacionan muchos hechos de la naturaleza, permiten hacer predicciones que podrían ser comprobadas experimentalmente y facilitan resolver problemas cuantitativos (del tipo "cual es la gravedad en la superficie de la Luna ?"). A partir de la teoría científica se suelen utilizar modelos, que son abstracciones que permiten explicar de forma simplificada fenómenos de la naturaleza, ya que estos suelen ser bastante complejos. Así, a partir de la teoría cinético-molecular es muy conveniente imaginar los átomos y moléculas como bolitas solidas, lo que constituye un modelo excelente para comprender dicha teoría, a pesar de que ni los átomos ni las moléculas se parecen en nada a bolitas solidas.

Espero que a estas alturas ya tengas una visión clara de que la ciencia es un método lógico. También se conoce como ciencia el conjunto de conocimientos obtenidos por la humanidad mediante dicho método, pero prefiero, con el fin de que las ideas queden mas claras, identificar la ciencia con el método científico y no con el conocimiento científico.

El investigador y divulgador Ruy Perez Tamayo define así la ciencia: *actividad creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el conocimiento*. Considero que no se puede decir mas con tan pocas palabras. Según esta definición, no tiene sentido hablar de ciencia básica y ciencia aplicada. Esta ultima estaría mejor calificada como tecnología, que el mismo autor define así: *actividad transformadora cuyo objetivo es la explotación de la naturaleza y cuyos productos son bienes materiales y de servicios*.

Relació entre
ciència i tecnolo-
gia

Aclarado este punto, queda claro que la ciencia no es un fin en si misma, sino una herramienta. Eso si, comprenderás que no es una actividad inútil. Al fin y al cabo, hoy en día la tecnología es imposible sin la ciencia, y estamos sumergidos en tecnología. Y al revés, la ciencia no se concibe sin tecnología, ya que exige

instrumentos constantemente mas refinados, con una tecnología mas avanzada. Sería difícil que la astrofísica avanzase hoy de forma significativa con los telescopios de hace un siglo.

La ciència és èticament neutra

Y por ser una herramienta, la ciencia es éticamente neutra (aunque en esto muchos no están de acuerdo conmigo, que le vamos a hacer: de hecho, se suele hablar de la ruindad de la ciencia, de su deshumanización, etc.) Otra cosa es el comportamiento de los científicos, de sus patrocinadores, de los gobernantes que deciden que hacer con los conocimientos obtenidos, de la gente que les votamos ... A las personas si se les puede exigir una ética, pero a la ciencia no. Insisto en que la ética le es ajena.

Al hablarte sobre las teorías científicas, ya he señalado que estas pueden ser mas o menos modificadas e incluso rechazadas de plano. Este hecho -la provisionalidad de la ciencia- es a mi entender una de sus grandezas, aunque en principio esto pueda resultarte paradójico. Eso supone que el conocimiento científico es continuamente mejorado, que nuestra comprensión de la naturaleza es cada vez menos imperfecta debido a que el conocimiento científico avanza corrigiéndose a si mismo. Esto echa por los suelos la acusación que algunos iluminados hacen a la ciencia cuando la califican de dogmática (un dogma es una verdad absoluta que no puede ponerse en evidencia). Claro que estos iluminados son los que aseguran, de forma absolutamente dogmática, cosas como que en una casa hay una lucha entre las energías *yin* y *yang*. Y digo que afirman "de forma dogmática" porque es imposible demostrar que esten equivocados (o que tengan razón): su forma es dogmática porque, al fin y al cabo, alguien invento hace mucho tiempo eso del *yin* y del *yang* sin preocuparse en comprobarlo.

La ciència evolucionaria constantment i s'autocorre-

Las verdades obtenidas por la ciencia no son nunca definitivas. Una teoría científica pierde su validez cuando no puede explicar algún hecho experimental, y no hay mas que dar un repaso a la historia para comprobarlo. Quizá el ejemplo mas conocido es la invalidación de la mecánica de Newton por la de Einstein, aunque los efectos sólo se notan a velocidades cercanas a la de la luz. Eso *sí*, los científicos son humanos, ya quien ha propuesto una ley no le hace ninguna gracia que le encuentren fallos.

La ciència és única

Otra característica de la ciencia es que es única. No existe una ciencia inglesa, o japonesa, o española. No existe una ciencia occidental una ciencia oriental. No existe una ciencia oficial y una ciencia alternativa. La ciencia es una -nada tiene que ver el hecho de que se divida en innumerables disciplinas- y sobre todo ahora, cuando vivimos en una aldea global. Los investigadores trabajan en equipo utilizando el método científico, realizan intercambios entre centros de investigación, se reúnen (por especialidades) varias veces al año en congresos donde se comunican sus hallazgos mas recientes, se obsesionan par publicar sus resultados cuanto antes, ya que publicar da prestigio y dinero para seguir trabajando ...

La ciència és pública

Esto a su vez supone que la ciencia es una actividad pública. Todo lo que se investiga sale a la luz, y casi siempre mas pronto que tarde. Ya no existe la figura del científico aislado en un oscuro sótano, al margen del resto del mundo. Y no existe porque es imposible. Sus conocimientos quedarían obsoletos rápidamente. Además, los requerimientos actuales suponen una inversión que sólo las grandes fortunas personales podrían asumir, y eso en las disciplinas digamos mas baratas. Si un científico –o un equipo de ellos- pretende investigar, necesita convencer a organismos públicos o a empresas o fundaciones privadas de que

vale la pena financiarle. Y si es financiado se le exigirán resultados, principalmente en forma de publicaciones y patentes, que son de dominio publico. Claro que puedes sospechar (y yo lo hago) que existen ciertos tipos de investigaciones secretas, por ejemplo en el desarrollo de nuevos armamentos. Si, definitivamente los científicos también son humanos.

Hi ha qüestions que no són de domini de la ciència.

Déjame, Nicolas, que termine este capitulo dejándote claro que **la ciencia no tiene la exclusividad en la búsqueda de la verdad**. Es la herramienta que tenemos para averiguar de forma experimental el comportamiento del universo, pero hay cuestiones que nunca podrán ser respondidas usando el método científico. Tiene el hombre un alma inmortal ? En que consiste la dignidad ? Ante estas cuestiones y otras similares la ciencia no puede hacer absolutamente nada. De ellas se ocupan otras actividades humanas, como las religiones y la filosofía.