

Experimentos

7 de septiembre de 2021 · Escribe [Hugo de los Campos](#) en [Ciencia y cultura](#)
13 minutos de lectura

La ciencia se basa en la evidencia. Pero ¿cómo se obtiene esa evidencia? ¿Cómo funciona el método científico? ¿Hay solamente uno? ¿Cómo se hace un experimento? Hugo de los Campos nos propone adentrarnos en estos temas con el afán de hacernos partícipes activos de un *estilo de razonamiento científico*.

Escuchá este artículo

Leído por Andrés Alba.

Ingresá o suscribite

¿Ya tenés suscripción?

INGRESÁ

¿No tenés suscripción?

Accedé a 10 artículos gratis por mes con la suscripción gratuita.

SUSCRIBITE GRATIS

El negocio de la ciencia consiste en realizar afirmaciones y conseguir que los demás nos crean. Bueno, pero eres poco específico. Al fin de cuentas ese es el negocio de multitud de actividades humanas. Las del político, el sacerdote, la pareja que llega tarde a casa, el verdulero (*lleve tranquilo, vecino, que están frescas*). Dos restricciones permiten delimitar el campo.

En primer lugar, la ciencia no realiza cualquier afirmación. Todas aquellas que se formulen en términos de *bueno o malo* o de *lindo o feo* quedan excluidas. Nos ocupamos de las que refieren a algo que es (o no es) en el mundo. Como cuando a fines de 2019 se afirmó que un nuevo coronavirus estaba circulando entre los habitantes de una ciudad china. O cuando, más tarde, se dijo que la vacuna tal reducía en tanto las chances de complicaciones por contagio con aquel virus. *Verdadero o falso* resulta una denominación algo ambiciosa para dar cuenta de la esperanza que depositamos en este tipo de afirmaciones. Pero vale.

En segundo lugar, no cualquier método para obtener el favor del auditorio es aceptado. Quedan descartados los métodos del dogma, la autoridad o el terror. No vale argumentar que *es así porque así está escrito*, o que *es así porque lo digo yo que tengo un doctorado en la Universidad de Pehuajó*, o que *es así y si usted no opina lo mismo que yo, marche preso*. Se requiere aportar información obtenida en el mundo acerca de eso que supuestamente sucede.

Esto nos lleva a considerar los procesos lógicos requeridos para generar información empírica creíble. A la información (registros de experiencia) obtenida en el mundo, tras la aplicación de un método (proceso lógico) la llamamos, en el ámbito científico, *evidencia*.

¿En qué consiste el método de la ciencia? “La pregunta no está correctamente planteada”, se adelanta a responder Ian Hacking en su obra *Representar e intervenir*. Y continúa: “¿Por qué debería haber ‘el’ método de la ciencia? No hay una única manera de construir una casa, o incluso de sembrar tomates. No deberíamos esperar que algo tan abigarrado como el crecimiento del conocimiento esté atado a una metodología”. Buena apreciación

para dar inicio a la presentación del método inductivo y el deductivo. Aquí tenemos, pues, dos.

La afirmación acerca de la circulación de un nuevo coronavirus se valió del método inductivo (esas extrañas neumonías reportadas en Wuhan dieron inicio a una serie de observaciones, que concluyeron en la identificación de un virus). Para la determinación del grado de efectividad de tal o cual vacuna para prevenir consecuencias severas de ese virus en la salud humana, recurrimos al método deductivo. Este artículo trata sobre el segundo.

Conjeturas y refutaciones

“El hombre de ciencia, ya sea teórico o experimental, propone enunciados –o sistemas de enunciados– y los contrasta paso a paso. En particular, en el campo de las ciencias empíricas construye hipótesis –o sistemas de teorías– y las contrasta con la experiencia por medio de observaciones y experimentos”. Aquí tenemos a Karl Popper iniciando el primer capítulo de *La lógica de la investigación científica*, uno de los textos más influyentes en la historia de la epistemología.

Ajustemos levemente la afirmación: sustituyamos el genérico “el hombre” por “algunas personas”. Y despedamos por el momento a la observación simple, que generalmente apela al método inductivo. Nos queda entonces algo así como: “Algunas personas que trabajan en el campo de las ciencias empíricas construyen hipótesis y las contrastan con la experiencia por medio de experimentos”.

Veamos cómo lo hacen.

Preexperimentos

Debemos comenzar con una hipótesis. Aquí tengo una que seguro vas a dar por cierta: *el metal mercurio se dilata con el aumento de la temperatura*. Vamos, que eso lo sabemos todos. ¡Si hasta lo usábamos para tomarnos la temperatura!

A esa hipótesis debemos, entonces, contrastarla por medio de experimentos. Está bien, hagamos uno.

Lo que sigue es un diálogo entre M y L, que se han ofrecido para la tarea.

M: Tengo una hipótesis: El mercurio se dilata con el aumento de la temperatura [esa sería la hipótesis uno, o H1].

L: ¿De veras? No creo que sea verdadera. ¿Por qué lo crees tú?

M: Te lo mostraré. Me pongo este termómetro debajo de una de mis axilas, espero unos minutos y... [acercando el termómetro a L] mira en qué marca está.

L: Veo que el mercurio se encuentra en cierta marca. Pero ¿cómo concluyes por eso que ha aumentado? ¿Y cómo que lo ha hecho por el aumento de la temperatura?

M: Omití decir que había observado en qué marca se encontraba el mercurio antes de llevarlo a mi axila, tienes razón. Afirmo que se ha dilatado porque antes lo había observado en una marca y ahora lo

observo en otra superior. Y la temperatura... pues porque mi cuerpo tiene más temperatura que esta habitación, ¿por qué otra cosa podría ser?

L: Bien. Has observado antes, has hecho variar la temperatura y has observado después. Finalmente restaste los resultados de ambas observaciones para saber si tu objeto de interés aumentó. Es una buena estrategia para reportar una variación. Pero con la temperatura te equivocas. En realidad, el metal mercurio se contrae y se dilata con las variaciones de luminosidad (H2). Al llevarlo debajo de tu axila lo has privado de luz. Es en tales circunstancias que el mercurio se dilata.

M: Pero ¿qué dices? A ver (dirigiéndose a la cocina de la casa). Mira ahora dónde está la marca del termómetro. Lo pongo dentro de este horno. ¿Lo ves? Hay luz. Mi horno tiene una lámpara. Subo la temperatura. Espero unos minutos, y... ¡Aquí tienes! Ha aumentado.

L: Que poco conoces acerca del mercurio, M. Este metal se dilata y se contrae por muchas causas. Otra de ellas es la circulación del aire (H3). Tanto cuando lo llevaste debajo de tu axila como cuando lo colocaste dentro del horno, hiciste que dejara de circular aire en torno al termómetro. Por eso se expandió.

Los intercambios entre M y L podrían extenderse por un buen rato. Para cualquier ensayo que proponga M, L podría presentar una *hipótesis rival* que formalmente resultara tan plausible como la de la temperatura. Y si se viera acorralado, tendría dos que nunca fallan:

L: Bien. ¿Sabes qué día es hoy?

M: Sí. Lo sé.

L: Pues debieras saber que hoy el Sol y Mercurio se encuentran en Leo, con Venus y Marte en Virgo, y la Luna en Tauro. Cuando se produce esta configuración astrológica, el metal mercurio se dilata (H4).

La última hipótesis de L puede resultarnos inverosímil. Pero en términos formales es tan plausible como la de M, que considera la temperatura. Finalmente:

L: Lo que sucede, M, es que estás utilizando un compuesto de mercurio muy especial, que se contrae y dilata frente a distintos estímulos (H5). La mayor parte de los compuestos de mercurio son mucho más estables respecto de su volumen. Y ciertamente no se dilatan con la temperatura.

El diálogo anterior reproduce sintéticamente los resultados de un ejercicio que realicé durante años con estudiantes de cursos de grado de metodología. Al comenzar el tema *diseños de investigación* solía decirles que tenía una hipótesis, y que necesitaba a un voluntario para pronunciarla en voz alta. Iba a intentar cuestionarla y él o ella debía argumentar en su defensa. Cuando conocían que la hipótesis era *el mercurio se dilata con el aumento de la temperatura*, varios aceptaban el desafío (es sencillo demostrar eso). Años tras año se sucedían los argumentos y contraargumentos que, de manera estilizada, se presentan en el ficticio intercambio entre M y L.

El problema es que M, como muchos de nosotros en la vida cotidiana, no está llevando adelante un *experimento puro*. Sus

pruebas constituyen *preexperimentos*. Su notación es la siguiente: G
O1 X O2

Seleccionamos un grupo (G) observamos el valor de la variable a explicar (O1) modificamos deliberadamente la supuesta causa (X) y volvemos a observar el valor de la primera (O2).

El problema con este diseño es que muchas hipótesis alternativas podrían proponerse como verdaderas con base en la evidencia que produce. Bien porque postulan que terceras variables como la iluminación (H2) o la circulación de aire (H3), que varían en simultáneo con la incluida en la hipótesis original, son la verdadera causa; bien porque proponen una condición externa al experimento, como la alineación de los astros como causa (H4); bien porque declaran que el efecto se debe a características internas del grupo que se eligió para llevar adelante el experimento (H5).

Experimentos puros

Para resolver aquellos problemas es necesario trabajar con dos grupos. Y asegurarnos de que sean iguales. Utilizamos el término inglés *random* para designar el procedimiento. Consiste en asignar las unidades que participarán en el experimento, a uno u otro grupo, de manera aleatoria. En nuestro ejemplo, deberíamos tomar una cantidad del metal, batirla y colocarla en dos recipientes. En otros casos (para experimentos con humanos no se aconseja el batido) utilizamos formas alternativas como el sorteo, para decidir en qué grupo participará cada caso. Que ambos *sean iguales* no significa obviamente que todas las unidades sean idénticas, sino que, en promedio, respecto de cualquier atributo, los grupos lo son. El azar se encarga de igualarlo todo: lo que observamos y lo que no.

Comenzamos entonces con dos grupos *randomizados*, a los que llamaremos RG1 y RG2 (por *random group* 1 y 2). Con el primero hacemos lo mismo que en nuestro preexperimento: observamos el valor de nuestra variable de interés (O1), manipulamos aquella que hipotetizamos como causa de la variación de la primera (X) y volvemos a medir (O3). Con el segundo sólo observamos. Antes (O2) y después (O4) en simultáneo con las observaciones del primero, sin modificar nada (-).

Representamos el procedimiento del siguiente modo:

RG1 O1 X O3

RG 2 O2 - O4

Si te preguntan en qué consiste el método científico, puedes presentar esta notación como respuesta (luego le aclaras a tu interlocutor que te refieres específicamente al método hipotético deductivo). Para obtener el resultado, en lugar de una resta como en el preexperimento, debemos hacer tres: $(O3 - O1) - (O2 - O4)$.

En nuestro ejemplo restamos la altura del mercurio antes de aumentar la temperatura, de la altura luego de hacerlo ($O3 - O1$). Hacemos lo mismo con las alturas (después - antes) en el grupo de control ($O2 - O4$). Y finalmente restamos el resultado de aquellas restas. Si obtenemos cero, significa que nada ha sucedido o (supongamos que en las últimas mediciones se observa un aumento idéntico del mercurio en ambos grupos) que algo distinto de la temperatura ha sucedido, haciendo variar el volumen del mercurio. En cualquier caso, desechamos nuestra hipótesis. Si por el contrario

el resultado es distinto de cero, sólo podemos concluir que el aumento de la temperatura es la causa de la diferencia.

Ilustración: Ramiro Alonso

Esto es así porque con el procedimiento podemos descartar cualquier hipótesis rival. Veamos:

H2: la iluminación hace variar el volumen del mercurio. No. Porque tanto RG1 (el grupo de tratamiento) como RG2 (el grupo de control) estuvieron sometidos a la misma intensidad de iluminación mientras aumentamos la temperatura sólo en el primero. Y sólo varió en el primero.

H3: la circulación de aire hace variar el volumen del mercurio. No. Porque tanto tanto RG1 como RG2 estuvieron expuestos a la misma circulación de aire mientras aumentamos la temperatura en el primero. Y sólo varió en el primero.

H4: cuando el Sol y Mercurio se encuentran en Leo, con Venus y Marte en Virgo, y la Luna en Tauro, el mercurio se dilata. No. Porque tal ubicación de estrella, planetas y satélite ocurrió tanto para RG1 como RG2. Y sólo observamos variaciones del volumen del metal en GR1, que estuvo expuesto a un aumento de la temperatura.

H5: este compuesto particular de mercurio se dilata y se contrae frente a múltiples estímulos. No. Porque tenemos dos grupos de unidades del mismo compuesto (convenientemente *sorteadas* para formar parte de uno u otro grupo) y sólo el que expusimos a un aumento de temperatura varió su volumen.

Incluso posibles causas adicionales de la variación del volumen del mercurio pueden identificarse. Supongamos que al inicio ambos grupos de mercurio tenían volumen 30 y luego de aumentar la temperatura para el primer grupo obtenemos un volumen 35 y para el segundo uno de 33. Realizando nuestras restas obtenemos: $(35 - 30) - (33 - 30) = 2$

El resultado es la parte del aumento del volumen del mercurio explicado por el aumento de la temperatura. Es claro que en RG1 el volumen aumentó 5, no sólo 2. Pero en RG2, que está integrado en promedio por las mismas unidades de mercurio y expuesto a las mismas variables externas que RG1, aumentó 3. Siendo así, es razonable suponer que de los 5 puntos que aumentó el mercurio en el primer grupo, 3 se explican por *algo* que no conocemos pero que ciertamente está operando en ambos grupos (porque 3 fue la variación en el grupo de control donde no hicimos nada). Con lo que los restantes 2 sólo pueden explicarse por la variación de la temperatura, que solo ocurrió en RG1.

Del manual al laboratorio

Entre los métodos de la ciencia, el que presenta mayor complejidad es el que acabamos de considerar. Y formalmente se limita a lo que expusimos. Si tienes entre manos una hipótesis explicativa (de esas que dicen que al variar A, varía B) conforma dos grupos iguales en promedio. Mide en ambos B. Haz variar deliberadamente A. Vuelve a medir B. Y realiza tres restas con los resultados de las mediciones.

En general la metodología es sencilla. Los problemas surgen cuando intentamos aplicarla en la vida real. Allí se pone interesante. Si fuera difícil de entender, pero sencilla de aplicar, una vez que lo entiendes pierde la gracia. Cuando sucede al revés, aunque entender la idea no tenga mucho de interesante, en cada situación particular tendrás que ingeniártelas para aproximarte a aquellos sencillos principios.

En muchas ocasiones resulta difícil conformar grupos aleatorios y luego hacer variar nuestra supuesta causa. ¿Cómo hacerlo para probar que haber nacido en Argentina o en Uruguay es causa de un

tipo particular de comportamiento? No se puede sortear humanos y “hacerlos nacer” luego en un país o en otro.

En otras situaciones es difícil conformar grupos aleatorios, aun cuando nuestra supuesta causa pueda manipularse *a posteriori*, porque supondría otorgar un beneficio a un grupo y privar de este a otro. A este problema se enfrentan las evaluaciones de impacto de programas sociales.

La manipulación de muchas variables resulta también compleja por problemas éticos. Esto es especialmente cierto en la investigación con humanos. Supongamos una hipótesis que postula como causa de las adicciones el haber sido sometido a situaciones de violencia en la infancia. Y supongamos que podemos “sortear” bebés para que formen parte de un grupo de tratamiento y uno de control. Aún si pudiéramos hacer lo anterior, no podemos someter a los integrantes del primer grupo a situaciones de violencia durante años (toda la infancia) para luego comparar cuántos se volvieron adictos en uno y en otro grupo.

A estas dificultades se suman otras de orden práctico: ¿cómo mantener aislados a los grupos de tratamiento y de control en ambientes naturales? ¿Cómo sostener el experimento cuando la hipótesis postula que la causa debe operar durante años o décadas?

Y el que llamamos de *validez externa*: ¿cómo saber que lo observado en el laboratorio sucederá en las poblaciones de las que los grupos de tratamiento y control han sido seleccionados, en su ambiente natural? Podemos confiar en que el mercurio se comportará de modo similar dentro de un tubo de ensayo que en el viejo termómetro de una familia. Pero muchas veces no podemos abrigar la misma confianza para otras entidades.

Finalmente, el diseño experimental puro puede requerir ajustes que lo tornan más complejo. Como cuando se requiere aplicar múltiples estímulos o realizar más mediciones. Y comúnmente es necesario apelar a algo más que tres restas para tratar estadísticamente sus resultados.

Asumiendo que los problemas de los diseños experimentales (como de cualquier método) no se encuentra tanto en su formulación como en sus aplicaciones, frente al reporte de un resultado experimental, es importante preguntarse cuánto se ha podido acercar ese ensayo concreto a los principios de aleatorización, observación, manipulación y significación estadística de las diferencias observadas que el método prescribe. Con un poco de práctica (y en un escenario de no ocultamiento de información, claro está) cualquier persona puede realizar esta valoración con propiedad.

Estilos de razonamiento

Pero se necesita algo más. Ian Hacking es un firme defensor de la tesis de que la verdad o falsedad de cualquier enunciado propuesto dentro de un sistema de conocimiento sólo puede establecerse con las reglas de ese mismo sistema de conocimiento. La ciencia, como cualquier otra forma de conocer, no se limita a *sistemas de enunciados (teorías)*, como expresaba Popper, sino que incluye estilos particulares de razonamiento a partir de los cuales los primeros pueden ser formulados. Para mostrar lo anterior, Hacking discute la veracidad de la teoría del calórico de Laplace (1749-1827). Los físicos contemporáneos coinciden en que no es correcta. Hacking luego presenta algunos pasajes en que Paracelso (1493-1541) describe a los *percebes* o *gansos-árboles*. Frente a los segundos no es posible emitir un juicio de verdad o falsedad. Simplemente no comprendemos lo que Paracelso afirma. “Una proposición es verdadera-o-falsa”, concluye Ian Hacking, “si hay un

estilo de razonamiento que nos ayude a establecer su valor de verdad”.

La verdad no radica en las cosas. Las cosas simplemente son. Las ideas de verdad y falsedad (como las de bondad y maldad, o de belleza y fealdad) habitan en nuestras mentes. “Lo verdadero, dicho brevemente, es sólo el expediente de nuestro modo de pensar”, sostenía William James.

Estos modos de pensar, compartidos por una comunidad de personas, se traducen luego en métodos específicos, que cada sistema de conocimiento propone para explorar el mundo. De modo que antes de valorar las formas en que se ha resuelto técnicamente tal o cual cosa, es necesario que acordemos acerca del modo de razonar acerca del mundo. Empresa nada sencilla en nuestra época.

Todo lo anterior nos lleva a insistir en la necesidad de incluir entre los esfuerzos de divulgación científica no sólo la difusión de los *productos* de esta actividad humana (descubrimientos, aparatos) sino de los procesos lógicos que hacen posible que aquellos sucedan.

Podemos aspirar a una comunidad ávida de novedades, interesada por tener noticia de los últimos descubrimientos científicos. Es una buena aspiración.

Podemos elevar la apuesta y propiciar colectivos integrados por seres humanos calificados para valorar críticamente esas novedades que algunos expertos producen.

Pero podemos aumentar aún más la apuesta: aspirar a una comunidad cuyos miembros puedan participar activamente en la exploración del mundo, con un *estilo de razonamiento científico*.

Referencias

Donald Campbell y Julian Stanley. (2011). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*.

Karl Popper. (1934). *La lógica de la investigación científica*.

Ian Hacking. (1983). *Representar e intervenir*.