



El método científico

Aura Nidia Herrera Rojas, Profesor Asistente, Departamento de Psicología, Centro de Epidemiología Clínica. Universidad Nacional de Colombia. E-mail: anherrer@bacata.usc.unal.edu.co. Rodrigo Pardo Turriago, MD, y Ricardo Sánchez Pedraza, MD, Profesores Asociados, Facultad de Medicina, Centro de Epidemiología Clínica. Universidad Nacional de Colombia.

Este artículo parte de la presentación y discusión de tres formas de acceder al conocimiento -la autoridad, la intuición y la razón- para llegar a presentar algunas características generales del método científico. Se revisan algunos de los rasgos distintivos entre las ciencias formales y las ciencias fácticas, enfatizando las características de las segundas y en especial de su método. Finalmente se presentan, de manera resumida, algunos conceptos estadísticos, la utilidad de la técnicas estadísticas en la investigación científica y el razonamiento que se sigue en la prueba de hipótesis.

Es posible identificar, según Pagano (1), cuatro fuentes de conocimiento: la autoridad, la intuición, la razón y el método científico. De acuerdo con el primero, algo es verdad cuando una reconocida autoridad así lo afirma y en consecuencia, el individuo que 'conoce' lo hace porque cree en tal autoridad. Aunque este "criterio de verdad ... ha mantenido enjaulado al pensamiento durante tanto tiempo y con tanta eficacia" (2), basta una observación no muy detenida para notar que es muy frecuentemente usado, y algunos autores le reconocen su importancia en la vida diaria. Muchas de las cosas que 'sabemos' las hemos aprendido de esta forma y sería prácticamente imposible someterlas

individualmente, a cualquier tipo de verificación. Por ejemplo, según algunos teóricos de la física, la materia se compone de elementos básicos: los átomos. Éstos a su vez están formados por electrones, protones, etc.; aceptamos como cierto que existen tales partículas sin haberlas visto. Incluso los científicos recurren con frecuencia a esta forma de conocimiento cuando parten de algunos principios que consideran verdaderos porque han sido expresados y sustentados por una autoridad. Sin embargo, la diferencia entre la *fe* y la *ciencia* está en que según la primera aquellos principios son verdaderos gracias a la autoridad de quien los presente, mientras que según la segunda sólo lo serán de manera transitoria y lo más importante es que sean verificables.

La intuición como fuente de conocimiento o como criterio de verdad se basa en la evidencia aparente o en el *presentimiento*. Desde este punto de vista existen verdades claras e inmediatas que sencillamente penetran en el espíritu humano sin necesidad de razonamiento o verificación. En consecuencia, la verdad sobre la esencia de algunas cosas podría encontrarse o percibirse a primera vista ya sea porque se considera que la intuición es la fuente primaria de conocimiento, o porque

existen verdades tan aparentes que no necesitan someterse al juicio de la razón o a comprobación empírica alguna. Nuevamente se trata de una forma de conocimiento muy frecuente en la cotidianidad. Algunas de las decisiones que tomamos a diario tienen como principal argumento la intuición y son conocidos algunos casos de descubrimientos científicos que nacieron como una idea intuitiva, sobre todo después de haber fallado el razonamiento. Beveridge (3) menciona algunos casos ilustres. Sin embargo, nuestra intuición de que algo es verdadero no garantiza que lo sea (4) y si de conocimiento científico se trata, la sola convicción de veracidad de una idea o su apariencia de verdad no son argumentos suficientes para considerarla verdadera.

La tercera forma se refiere al uso de la razón. Desde esta perspectiva se supone que si algunas afirmaciones verdaderas son sometidas al juicio de la razón respetando ciertas reglas, las conclusiones también serán verdaderas. Baste un solo ejemplo para ilustrar el uso de este método como criterio de veracidad en la vida cotidiana: el día de mi cumpleaños mi madre prepara una torta, hoy es mi cumpleaños, entonces hoy mi madre prepara una torta. Quien así razona -y quienes lo escuchan- dan por verdadera la conclusión gracias a que

las afirmaciones son verdaderas y las reglas de razonamiento utilizadas son correctas; sin embargo, existen muchas situaciones en las que el solo razonamiento no es suficiente para llegar a la verdad. Supóngase que la madre de quien habla en el ejemplo anterior, olvidó la fecha y no preparó una torta. El razonamiento seguirá siendo igualmente válido pero la conclusión no es verdadera.

Antes de entrar en la cuarta fuente de conocimiento, el método científico, cabe hacer una primera clasificación de las ciencias en dos tipos: formales y fácticas (2). Las diferencias entre ellas se encuentran tanto en su objeto como en el método que utilizan para llegar a la verdad. En primer lugar, mientras las ciencias formales se ocupan de conceptos abstractos y de las relaciones entre ellos, en pocas palabras, construyen sistemas teóricos sobre objetos abstractos, las ciencias fácticas se ocupan de los hechos, construyendo sistemas teóricos sobre objetos empíricos. La matemática, por ejemplo, como ciencia formal trabaja con conceptos abstractos. Los números son objetos ideales que no existen en la realidad aún cuando sirvan para contar objetos empíricos. La epidemiología, en cambio, como ciencia fáctica se ocupa de hechos y procesos como la identificación de los hábitos alimenticios que favorecen la aparición de determinada patología. Los hábitos alimenticios son observables en la realidad y puede intentarse su modificación con el fin de ver un efecto.

De otra parte, las ciencias formales recurren al razonamiento lógico para

demostrar la veracidad de sus postulados. No es necesario recurrir a la experiencia para mostrar que $10 + 5 = 15$. En cambio, para las ciencias fácticas la lógica no es suficiente sino que requiere además de la confrontación empírica mediante observación o experimentación. Siguiendo con el ejemplo anterior, el epidemiólogo debe identificar, de acuerdo con las teorías y conceptualizaciones existentes, los hábitos alimenticios que le interesan; pero además necesitará observarlos y en algunos casos tratar de introducir cambios -prescribiendo una determinada dieta, por ejemplo- para modificar la incidencia de una patología -la proporción de niños desnutridos en una comunidad dada-. Finalmente, mediante un razonamiento lógico, las ciencias formales pueden *demostrar* que sus teoremas son *lógicamente verdaderos* -veracidad- y éste valor de verdad se mantendrá dentro del sistema teórico para el que se demostró. Por ejemplo, $10 + 5 = 15$ siempre será un enunciado *verdadero* para la operación de la suma entre números reales. Sin embargo, dentro del sistema de conteo de las horas del día (1 a 12 horas) puede ser verdadero $10 + 5 = 3$ (la cirugía empezó a las 10 a.m., duró 5 horas y terminó, en consecuencia, a las 3 p.m.). Por su parte, las ciencias fácticas no demuestran la veracidad de sus enunciados. Los enunciados de las ciencias fácticas sólo se consideran verdaderos de manera transitoria, mientras nuevas experiencias no los refuten. En el ejemplo anterior, el epidemiólogo debe ser capaz de

comunicar tanto las condiciones en que sus observaciones tuvieron lugar como las operaciones que realizó para obtener el efecto que efectivamente obtuvo. Al final no habrá *demostrado* la veracidad de sus conclusiones, sino que habrá formulado algunos enunciados coherentes y susceptibles de probar o refutar mediante *nuevas experiencias* -verificabilidad-.

Una comparación entre ciencias fácticas y formales puede resumirse como aparece en la **tabla 1**. En síntesis, las ciencias formales trabajan con ideales, utilizan la lógica y demuestran la veracidad de sus teoremas. Las ciencias fácticas por su parte, se ocupan de hechos y procesos, utilizan el método científico y construyen teorías coherentes y verificables. Dado que la epidemiología es una ciencia fáctica, en adelante nos ocuparemos de éstas y, en particular, de su método.

El método científico, racionalidad y verificabilidad

Cuando se habla de '*el método científico*' con frecuencia se piensa en un conjunto de reglas o recetas que si se siguen de manera cuidadosa, conllevan a la solución de un problema. Verlo así lo puede convertir en un dogma más, ya que se estaría recurriendo nuevamente a la autoridad como criterio de verdad: "tal enunciado es verdadero porque lo formuló tal *científico*, quien llegó a él siguiendo el *método científico*". Es cierto que la actitud científica se caracteriza por una permanente búsqueda de la verdad, pero no de la verdad definitiva e infalible. Para el científico, todo saber

Tabla 1. Comparación entre las ciencias formales y las ciencias fácticas.

Ciencias formales	Ciencias fácticas
Su objeto son entes ideales	Su objetos son los hechos y procesos
Su método es la lógica	Su método es el método científico
Un enunciado podría ser de la forma "Si p entonces q "	Un posible enunciado es "Si se cambia la dieta, se disminuye la incidencia de desnutrición"
Demuestra de manera definitiva la verdad de sus teoremas	Somete a prueba sus enunciados para confirmarlos o refutarlos
Construye enunciados verdaderos	Enunciados verificables

es falible y en consecuencia, susceptible de refutación. Desde esta perspectiva, el método científico está lejos de ser un conjunto de reglas que se deben seguir de manera rigurosa y por el contrario puede ser modificado y mejorado. "Uno de los errores frecuentes del joven hombre de ciencia consiste en que con frecuencia no logra reconocer la necesidad de modificar los métodos disponibles para adecuarlos a su problema particular..." (5).

Para Tamayo y Tamayo (6) el método científico se caracteriza por "ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica". Por su parte, para Cohen y Nagel (7) lo que define al método científico es "la persistente aplicación de la lógica" para someter a prueba algunos enunciados empíricos. Para Bunge (2) el método científico es un conjunto de reglas "numerosas, complejas, más o menos eficaces y en parte desconocidas"; pero también es "el arte de formular preguntas y de probar respuestas... Por consiguiente, los escritos sobre el método científico pueden iluminar el camino de la ciencia, pero no pueden exhibir toda su riqueza y, sobre todo, no son un sustituto de la investigación misma, del mismo modo que ninguna biblioteca sobre botánica puede reemplazar a la contemplación de la naturaleza, aunque hace posible que la contemplación sea más provechosa." En síntesis, el propósito fundamental de las ciencias es descubrir la *verdad*. En esa búsqueda es necesario seguir ciertas reglas -el método científico- y dudar de todo hallazgo, incluso del método mismo. En las ciencias fácticas el camino a la *verdad* implica operaciones de diferente tipo: a) necesita del razonamiento lógico para formular preguntas y construir teorías coherentes -sistema organizado de ideas sobre un aspecto de la realidad - y b) deben recurrir a la observación y a la experimentación para someter a

prueba sus enunciados. El primer aspecto está en estrecha relación con la racionalidad de las teorías científicas y el segundo con la *verificabilidad* de sus enunciados. Sin embargo, ambos aspectos están íntimamente ligados y cualquier división no puede tener otro objetivo que facilitar la exposición.

La racionalidad, entendida como la coherencia y organización de las ideas que conforman una teoría, se garantiza por el cumplimiento de ciertas reglas lógicas. El razonamiento lógico, conocido como inferencia lógica puede ser de tipo deductivo o inductivo. La inferencia deductiva ocurre cuando a partir de una teoría y obedeciendo ciertas reglas de razonamiento lógico, se generan nuevas ideas o se predicen posibles resultados. La inferencia inductiva consiste en la construcción de una teoría a partir de varias observaciones particulares. El científico hace inferencias inductivas cuando a partir de la observación o experimentación sobre algunos casos construye generalizaciones y propone teorías; y hace inferencia deductiva cuando a partir de una teoría genera alguna proposición verificable -hipótesis- y trata de someterla a prueba. Sin embargo, la inducción surgida de la acumulación de evidencia no refuerza una teoría (8). La inducción se basa en el supuesto de que lo que aún no hemos observado es igual a lo que ya observamos; sin embargo, el hecho de que no hayamos observado un caso que contradiga una teoría no es garantía de que no pueda aparecer en el futuro (9). Esto es, mucha evidencia en favor de una hipótesis no es suficiente para probarla pero una sola observación contraria es suficiente para refutarla. En este sentido el proceso sería plantear una teoría y a continuación tratar de demostrar que es falsa. Entre más resista a ser destruida será más fuerte. Las teorías científicas útiles son potencialmente falsificables (10).

Ahora, la racionalidad es una condición necesaria en las teorías científicas pero no garantiza que sus enunciados sean verdaderos. Los enunciados de las ciencias fácticas, más que verdaderos, deben ser verificables. En otras palabras, a los enunciados científicos no se les exige que sean verdaderos más allá de cualquier duda, lo que se les exige es que concuerden con los hechos que estudia y que puedan someterse a la comprobación empírica mediante la observación o la experimentación.

Estos dos aspectos del conocimiento científico -racionalidad y verificabilidad-, implican algunas características del método científico. Según Ander (11), el método científico: a) es fáctico, es decir, tiene siempre un referente empírico, b) trasciende los hechos, va más allá de la apariencia, no se limita a describir los hechos sino que trata de explicarlos, c) requiere de la verificación empírica para proponer respuesta a los problemas que estudia y para apoyar sus enunciados., d) es autocorrectivo y progresivo en tanto que va rechazando y ajustando tanto las teorías como las técnicas utilizadas, e) busca formulaciones de tipo general, busca formular leyes sobre los hechos que estudia y f) es objetivo puesto que se basa en conceptos, juicios y raciocinios sobre los hechos y no en sensaciones, percepciones y juicios de valor del investigador. Esta última característica hace que los estudios científicos sean replicables. Esto es, cualquier investigador puede tratar de repetir un estudio científico con el fin de confirmar o rechazar los hallazgos reportados por el primero.

Sin embargo, si se concibe que la naturaleza es cambiante, no es fija, ni estática, se tendrá que aceptar que cualquier resultado obtenido en una investigación está afectado por tales variaciones. Nótese que no se está hablando aquí de los cambios producidos por algunas variables

asociadas, o de aquellos que se pueden esperar de manera sistemática con el transcurso del tiempo o como efecto de una intervención, sino de variaciones caprichosas o aleatorias del fenómeno. Tales variaciones se conocen como *errores aleatorios* y el nivel de precisión de los resultados de una observación o experimentación están en relación inversa con la magnitud de error aleatorio (12). El análisis del efecto de este error puede estimarse a través de pruebas estadísticas. La variabilidad de los fenómenos exige pruebas estadísticas.

Epidemiología y estadística

En repetidas ocasiones hasta aquí, se ha afirmado que los enunciados de las ciencias fácticas se someten a prueba mediante la observación o la experimentación. "La operación básica en investigación empírica es, sin duda, la observación" (13). Sin embargo, en el método científico, tal observación es sistemática y organizada, no es casual ni accidental. La experimentación, por su parte, implica además de la observación, la intervención también sistemática y organizada del investigador, sobre los hechos o procesos que estudia. Esta distinción sustenta la división convencional de los estudios epidemiológicos en dos grandes categorías: observacionales y experimentales.

Los estudios observacionales en epidemiología tienen como principal objetivo describir las características de una población o identificar los factores asociados a un determinado fenómeno. En este tipo de estudios el investigador respeta los hechos en el sentido de que la naturaleza decide quién(es) se expone al factor de interés y quién(es) no. Por ejemplo, en un estudio sobre la asociación entre el tabaquismo y el cáncer de pulmón, el investigador no puede decidir quiénes son fumadores y quiénes no, los grupos están

conformados previamente y dentro del estudio se compararán las proporciones de casos de cáncer de pulmón entre los dos grupos.

En los estudios experimentales el investigador decide quiénes se exponen al factor de interés. En un estudio sobre la eficacia de un fármaco para el tratamiento de una patología, el investigador conforma aleatoriamente dos grupos de individuos: uno de ellos recibirá el fármaco de interés y otro recibirá un placebo. Posteriormente se comparará el curso de la patología en los dos grupos. Las diferentes estrategias a seguir en cada tipo de estudio y los controles o cuidados necesarios para garantizar la validez de los resultados, conforma un amplio capítulo dentro de la epidemiología.

Los métodos estadísticos permiten la descripción rápida y precisa de algunas características generales del grupo - estadística descriptiva- (14) o, mediante inferencia inductiva, obtener conclusiones para la población a la cual pertenece la muestra estudiada - estadística inferencial-. Aún cuando algunas operaciones o cálculos no son diferentes en los dos casos, es importante tener en cuenta que los alcances en cuanto a posibilidades de generalización de los resultados sí lo son, y de manera importante. Ahora, hacer inferencia estadística supone que existe un valor desconocido para una población y que es posible acercarse a él, mediante la observación o medición de la variable de interés en una muestra. Se denomina población al grupo total de interés dentro de una investigación, definido claramente en el espacio y en el tiempo, dependiendo de los objetivos del estudio. La definición en el espacio y en el tiempo es muy importante puesto que permite identificar los límites dentro de los cuales las conclusiones del estudio son válidas. Por otra parte, se llama muestra a un subconjunto que pertenece a la población de interés y

que proporciona los datos para el análisis (13).

Sin embargo, el investigador puede tratar de estimar el valor desconocido a partir de la muestra, sin tener una información previa acerca del mismo; o puede, con base en la información disponible en la literatura científica, formular una afirmación que supone. Por ejemplo en la estimación de la incidencia de una patología el investigador puede contar el número de casos en la muestra y a partir de ellos, estimar la proporción de casos en la población. Ahora, si hay información disponible sobre la incidencia de la patología, puede formular una afirmación a priori (la incidencia es igual a 0.2, por ejemplo) y contar los casos en la muestra para hallar la probabilidad de que la afirmación sea verdadera, de acuerdo con la información empírica recogida. En el primer caso se estará haciendo estimación estadística y en el segundo, prueba de hipótesis.

Una hipótesis es entonces una afirmación general, verificable y sustentada en la teoría (2). Es una afirmación general en tanto que se refiere a un parámetro en una población y no a un caso particular; debe ser verificable en el sentido expuesto antes, esto es, que se pueda someter a prueba con base en observación o experimentación y no con base en el gusto o la conveniencia y, finalmente, estar sustentada en la teoría puesto que debe ser coherente con el saber científico actual sobre el fenómeno que se estudia.

Dado que la hipótesis debe ser verificable, hace referencia a un valor particular. En el ejemplo anterior, si se quisiera someter a prueba la hipótesis de que la incidencia es diferente de 0.2, habría que probar si es igual a 0,1; igual a 0,3 etc. De manera similar para probar si dos poblaciones son diferentes en cuanto a la incidencia de la patología, habría que hacer pruebas con diferencia del 5%, del 10%, del

15%, etc; mientras que para probar la hipótesis "no existe diferencia entre las dos poblaciones" sólo habrá que probar que la diferencia de incidencia es igual a 0. Así, la hipótesis que se somete a prueba -llamada hipótesis nula- hace referencia a un valor único o a ausencia de diferencia, y la afirmación contraria se formula como hipótesis alterna o hipótesis de trabajo.

El razonamiento que se sigue en la prueba de hipótesis puede resumirse así: a) formular las hipótesis, -nula y alterna- b) asumir que la hipótesis nula es cierta mientras la evidencia empírica no muestre lo contrario, c) si los datos no falsean la hipótesis nula, la pregunta que sigue es: ¿qué tan probable es que se haya encontrado ese resultado por

error aleatorio? y, finalmente d) si los datos falsean la hipótesis nula, además de la pregunta anterior, cabe preguntar: ¿se puede aceptar como verdadera la hipótesis alterna? Suponer que la hipótesis nula es verdadera permite hacer uso de los modelos teóricos de la estadística para decidir hasta qué punto los resultados observados a partir de los datos de la muestra, la falsean. El razonamiento es el siguiente: Si la hipótesis nula es cierta entonces los valores observados en la muestra estarán, con determinada probabilidad, entre tales valores (identificados de acuerdo con el modelo teórico). Ahora, se tienen dos posibilidades: el valor observado se

encuentra efectivamente en el rango establecido, luego los datos no son evidencia suficiente para falsear la hipótesis; o por el contrario: los valores observados se encuentran alejados de lo esperado para la hipótesis verdadera, luego son evidencia para falsear la hipótesis.

Finalmente, si los datos no falsean la hipótesis nula, es decir si se halló un resultado dentro de lo esperado sobre el supuesto de que ésta es cierta, no puede concluirse más allá de cualquier duda, que la misma se ha probado o que es verdadera (15). Recuérdese que la inferencia inductiva se basa en el supuesto de que lo que no hemos visto aún, es igual a lo que hemos observado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Pagano R.** Understanding Statistics in the Behavioral Sciences. New York, West Publishing Company, 1981.
2. **Bunge M.** La Ciencia su Método y su Filosofía. Buenos Aires, Ediciones Siglo XX, 1970.
3. **Beveridge E.** The art of Scientific investigation. New York, Vintage Books, 1957.
4. **Shaughnessy J, Zechmeister E.** Research Methods in Psychology. New York, McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
5. **Brown C, Ghiselli E.** El método científico en psicología. Buenos Aires, Editorial Paidós, 1955.
6. **Tamayo y Tamayo A.** El proceso de la investigación científica. México, Limusa, 1993.
7. **Cohen M, Nagel E.** Introducción a la lógica y al método científico. Buenos Aires, Aditorial Amorrortu, 1973.
8. **Popper K.** Búsqueda sin Término. Una Autobiografía Intelectual. 3ª edición. Madrid, Editorial Tecnos. pp 105-117, 1994.
9. **Rothman KJ, Greenland S.** Modern Epidemiology, 2nd ed., Philadelphia, Lippincot - Raven, 1998.
10. **Popper K.** La Lógica de la Investigación Científica. Madrid, Editorial Tecnos, 1994.
11. **Ander E.** Introducción a las técnicas de investigación social. Buenos Aires, Humanistas, 1971.
12. **Bunge M.** La investigación científica. Barcelona, Ariel Methods, 1983.
13. **Herrera A, Quintero C, Sánchez R.** Algunas estadísticas frecuentemente usadas en investigación en salud - Segunda parte. *Revista Colombiana de Anestesiología* 1998;26:367-376.
14. **Elston R, Johnson W.** Principios de Bioestadística. México, Manual Moderno, 1990.
15. **Wassertheil-Smoller S.** Biostatistics and Epidemiology. A Primer for Health Professionals. New York, Springer-Verlag, 1995.

Nota: este trabajo se publicará en el libro "Estrategias de investigación en medicina clínica". Ardila E, Sánchez R, Echeverry J, eds. En prensa.