

EL MÉTODO CIENTÍFICO

Alberto Pérez de Vargas Luque
CES CU Cardenal Cisneros

Ciencia

Conocimiento o sabiduría

La ciencia es conocimiento objetivo

Gnoseología y Epistemología

El término antiguo Gnostología se empleaba para designar a una de las partes de la Metafísica, la dedicada al “estudio filosófico del problema y los problemas del conocimiento”

Ferrater, aun señalando las dificultades que tiene la pretensión de unificar el vocabulario, propone el uso de “Gnoseología” para designar a la teoría o el estudio del conocimiento en su acepción más general, reservando “Epistemología” para referirse al conocimiento *objetivo o científico*

Ciencia y ciencias

El *Método Científico* consiste en “*la formulación de preguntas precisas acerca de lo observado, la elaboración de hipótesis explicativas, la contrastación de las hipótesis y la consecuente construcción de una teoría*”

“El conocimiento científico es conocimiento probado”

“La ciencia es objetiva”

“El conocimiento científico es conocimiento fiable porque es conocimiento objetivamente probado”.

“El conocimiento científico aspira a ser totalmente impersonal y trata de formular lo descubierto por el intelecto colectivo de la humanidad”

La Matemática que no hace uso del método científico sino que es *lo que hace que el método científico sea método y sea científico.*

Únicamente acercándonos al rigor matemático nos aproximaremos a lo objetivo.

“La búsqueda de la verdad entraña también la eliminación de la falsedad. En este sentido, la ciencia es un quehacer crítico, no dogmático, que somete todos sus supuestos a ensayo y crítica”.

Los “hechos” o hallazgos empíricos solo se pueden cualificar como lógicamente relevantes o irrelevantes por referencia a una hipótesis dada, y no por referencia a un problema dado(...). Las hipótesis, en cuanto intentos de respuesta, son necesarias para servir de guía a la investigación científica. Esas hipótesis determinan, entre otras cosas, cuál es el tipo de datos que se han de reunir en un momento dado de una investigación científica.(...)Las hipótesis y teorías científicas no se derivan de los hechos observados, sino que se inventan para dar cuenta de ellos.⁽⁵⁾

Conceptos y esquemas

Cuando nos referimos a un objeto concreto estamos señalando el objeto como una *realidad física* percibida. La percepción depende del individuo porque el modo como es percibido el objeto no es consustancial con el objeto sino con el observador. Además, hay realidades físicas distintas que, sin embargo, son nombradas del mismo modo. Un candelabro que está sobre una mesa será aludido del mismo modo que otro situado cerca de él, distinto, quizá hecho de materiales diferentes, de otro tamaño o de otro color. Todos nos referiremos a los dos empleando la palabra elegida para denominarlo: *candelabro*.

Un determinado candelabro, por otra parte, causará en cada observador un efecto distinto, peculiar, que dependerá de éste, de su modo de verlo, de su sentido estético, de su formación artística e incluso de su sensibilidad. Todos, no obstante emplearán la palabra candelabro para designar el objeto observado.

De modo que un mismo objeto tiene percepciones distintas y objetos que pueden ser muy diferentes son denominados del mismo modo. Hay una ambigüedad en el lenguaje ordinario inadmisibles para la ciencia que ha de *especializar* el lenguaje para eliminar la doble imprecisión generada por la subjetividad del observador y el empleo de un mismo término para designar cosas distintas. La palabra *candelabro* puede ser suficiente en el lenguaje ordinario para designar un objeto que cumple determinados requisitos y ha sido construido con unos ciertos objetivos, y es posible que incluso sea bastante expresivo, pues si la palabra permite *comprender* de qué objeto se trata, hasta el punto de saberlo *distinguir* de otros objetos, la función de la palabra empleada es satisfactoria: *la palabra sirve para designar al objeto porque permite localizarlo y distinguirlo*.

“Lo que no puede dudarse es que el lenguaje ordinario, o sea el cotidiano y el literario, es insuficiente para la ciencia. Ésta se ve obligada a redefinir vocablos usuales y a introducir sus propios neologismos. *Ello es consecuencia de la propia naturaleza de la ciencia*. Tiene que hablar de fundamentos de objetos y tiene que hacerlo fundadamente, mientras el lenguaje ordinario está hecho para hablar solo de objetos”⁽⁷⁾

El conjunto de los objetos que forman nuestra percepción del entorno que habitamos, con sus relaciones e instrumentalizaciones, el ordenamiento de su disposición espacial y temporal, los pensamientos que generan y las conclusiones que pueden ser extraídas de la experiencia de vivir con ellos o entre ellos, constituyen el *esquema* de la realidad percibida.

El proceso de *conceptualización* o reducción a *concepto* de las referencias que constituyen el *esquema* desde el que se crean los hábitos y se enuncian las *teorías*, es fundamental para las demandas de *rigor* propias de la tarea de hacer ciencia. Un *concepto* servirá para designar sin ambigüedad a un determinado objeto en el *esquema conceptual* sobre el que se desarrolla el conocimiento.

“Los conceptos de la ciencia son las herramientas de trabajo del pensamiento científico: son los modos en los que el científico ha aprendido a comprender los fenómenos complejos, a darse cuenta de sus relaciones mutuas y a representarlos en forma comunicable”.⁽⁶⁾

Filosofía, metafísica, epistemología y lógica

Filosofía es el universo del pensamiento orientado a conocer, de modo que la Filosofía es el contexto de los saberes. Wartofsky⁽⁶⁾ dice que “comprender la ciencia en su relación con el sentido común y encontrar así las raíces comunes de las ciencias y las humanidades, es llegar a una comprensión de la ciencia distinta de la que se alcanza estudiando las propias ciencias”. Tal comprensión entiende que es el objeto de la *Filosofía de la Ciencia* cuya tarea define como “el estudio sistemático de los conceptos y esquemas conceptuales de las ciencias”.

Metafísica, Epistemología y Lógica son las tres grandes disciplinas en las que podría ser estructurada la Filosofía. La *Metafísica* se ocupa del estudio de lo que existe, de su naturaleza y de su estructura, la *Epistemología* de cómo podemos conocer lo que existe y la *Lógica* de cómo se relacionan los conceptos.

Inteligencia y comportamiento adaptativo

Wartofsky⁽⁶⁾ se refiere a la formación de hábitos, la inteligencia y el comportamiento adaptativo, como raíces de la razón. No obstante, la formación de hábitos no parece que esté claramente vinculada a la razón. La diferenciación del hombre del reino al que pertenece y en el que lo sitúa la antropología biológica, radica en la razón. Así Aristóteles lo define como *animal racional*, o *animal capaz de razonar*. Wartofsky⁽⁶⁾ reproduce una parte sustancial del formidable texto de la *Metafísica* de Aristóteles⁽⁸⁾ en el que éste distingue al hombre precisamente por su racionalidad:

1. Todos los hombres desean por naturaleza saber. Así lo indica el amor a los sentidos; pues al margen de su utilidad, son amados a causa de sí mismos, y el que más que todos, el de la vista. En efecto, no solo para obrar, sino también cuando no pensamos hacer nada, preferimos la vista, por decirlo así, a todos los otros. Y la causa es que, de los sentidos, éste es el que nos hace conocer más, y nos muestra muchas diferencias.
2. Por naturaleza, los animales nacen dotados de sensación; pero ésta no engendra en algunos la memoria, centras que en otros sí. Y por eso éstos son más prudentes y más aptos para aprender que los que no pueden recordar(...). Los demás animales viven con imágenes y recuerdos, y participan poco de la experiencia. Pero el género humano dispone del arte y del razonamiento. Y del recuerdo nace para los hombres la experiencia(...). *Nace el arte cuando de muchas observaciones experimentales surge una noción universal sobre los casos semejantes*. Pues tener la noción de que a Calías, afectado por tal enfermedad, le fue bien tal remedio, y lo mismo a Sócrates y a otros muchos considerados individualmente, es propio de la experiencia; pero saber que fue provechoso a todos los individuos de tal constitución, agrupados en una misma clase y afectados por tal enfermedad, por ejemplo a los flemáticos, a los biliosos o a los calenturientos, corresponde al arte.
3. Pues bien, para la vida práctica, la experiencia no parece ser en nada inferior al arte, sino que tienen más éxitos los expertos que los que, sin experiencia poseen el conocimiento teórico(...). Si alguien tiene, sin la experiencia, el conocimiento teórico, y sabe lo universal pero ignora su contenido singular, errará muchas veces en la curación, pues es lo singular lo que puede ser curado.
4. Creemos, sin embargo, que el saber y el entender pertenecen más al arte que a la experiencia, y consideramos más sabios a los conocedores del arte que a los expertos, pensando que la sabiduría corresponde en todos al saber. Y esto, porque unos saben la causa, y los otros no. Pues los expertos saben el qué, pero no el porqué(...). Así pues no consideramos a los jefes de obras más sabios por su

habilidad práctica, sino por su dominio de la teoría y su conocimiento de las causas(...). Además de las sensaciones, no consideramos que ninguna sea sabiduría, aunque estas son las cogniciones más autorizadas de los objetos singulares; pero no dicen el porqué de nada; por ejemplo, por qué es caliente es caliente el fuego, sino tan solo que es caliente(...). La llamada SABIDURÍA versa en opinión de todos, sobre las primeras causas y sobre los principios(...). Resulta pues evidente que la SABIDURÍA es una ciencia sobre ciertos principios y causas. ***

“El conocimiento racional es el conocimiento de aquello que explica las cosas, más bien que el conocimiento de que las cosas funcionan de cierto modo”(6).

Incidimos en algo que es esencial y justifica *el propio quehacer de la transmisión de conocimientos* que debe ser entendido como *la comunicación acerca de la razón de las cosas* y no una mera información sobre las cosas. Es muy importante detenerse a reflexionar sobre esta cuestión *sine qua non* podríamos explicar la *actitud* del hombre de ciencia y su *disposición* en la tarea de enseñar a comprender de la ciencia.

Aristóteles considera a los animales *seres inteligentes* en el sentido de que aprenden de la experiencia, en donde radica el elemento distintivo en el hombre es en que éste *razona*. Y la racionalidad supone universalización y predicción. Es decir, el hombre, *como cualquier animal*, aprende por experiencia, pero se diferencia en cuanto que la razón le permite universalizar lo aprendido como consecuencia de poderlo explicar. Al poderlo explicar, el hombre puede anticiparse a la experiencia. “*La función práctica del conocimiento racional es, por tanto, la predicción de la experiencia*”(6). En definitiva, podría decirse que el hombre se distingue de los animales en la posibilidad que aquel tiene de *conocer científicamente*.

En el “Diccionario de Filosofía” de Ferrater Mora(1) se señalan cinco significados para la palabra experiencia:

1. Aprehensión por un sujeto de una realidad, una forma de ser un modo de hacer, una manera de vivir.... Se trata entonces de un modo de conocer algo inmediatamente antes de todo juicio formulado sobre lo aprehendido.
2. Aprehensión sensible de la realidad externa. Se dice que tal realidad se conoce por medio de la experiencia. También, antes de toda reflexión.
3. Enseñanza adquirida con la práctica.
4. Confirmación de juicios sobre la realidad, verificándola.
5. Como algo que se ha soportado, un dolor, un sufrimiento.

En el uso de Aristóteles y cuyo sentido asume Wartofsky(6), por *experiencia* se entiende el *aprendizaje* consecuente con *haber vivido o haber experimentado* una determinada realidad de modo sensible e involuntario. Pues tendríamos que suponer que para los animales la experiencia no se concibe como *observación intencionada o provocada* sino como algo aprehendido desde una circunstancia casual. Hay aquí, nuevamente, un elemento diferenciador, el hombre puede aprender *provocando* una circunstancia para *observar* lo que ocurre y con la *intención* de hacerlo.

Los seres vivos –como señala Wartofsky(6)– “parecen, en general, diestros en la superación de dificultades(...) en adaptarse a variaciones del ambiente o en buscar ambientes favorables que estimulen las posibilidades de supervivencia”. Pero, el hombre además tiene la posibilidad no solo de *adaptarse al medio* sino también, en la medida que lo permitan las circunstancias, de *adaptar el medio* según pueda y convenga a sus intereses.

Podemos concluir que los seres vivos van comportándose de tal modo que *tienden a adaptarse* y que en el hombre *el comportamiento adaptativo* comprende una *acción* sobre el medio. Hasta el punto de que “todo ser vivo constituye un complejo físico-químico que posee la facultad de

mantenerse en equilibrio con el medio si éste no sufre variaciones demasiado fuertes(...). La adaptabilidad se presenta como una propiedad sin la cual el ser vivo no subsistiría.”⁽⁹⁾

Ordenación de la experiencia. Percepción y abstracción

Los seres vivos son capaces de *ordenar* la experiencia, de modo que lo aprehendido no constituye un conjunto de cosas dispersas sino que éstas son ligadas y ordenadas en cuanto se adquieren. La biología admite que la *ordenación de la experiencia* forma parte del patrimonio genético de los organismos.

Lo percibido se ordena por lo que hay en común entre las percepciones y en niveles de complejidad. El proceso se denomina *abstracción*.

Si *percibir es aprehender* sin tener en cuenta la naturaleza de lo aprehendido, *abstraer* separar particularidades dirigiéndose hacia lo general. Para Platón la abstracción es un proceso por medio del cual se va de lo particular a lo esencial. Ferrater⁽¹⁾ sitúa la abstracción *formal* en tres grados:

1. El primer grado es el propio de la Física como ciencia de la Naturaleza. En él, los objetos se consideran purificados de la materia en cuanto ésta constituye el principio de individuación. Los objetos quedan, no obstante, impregnados de materia sensible, de modo que no pueden existir ni ser concebidos sin tal materia.
2. El segundo grado es el propio de la Matemática. En él, los objetos se consideran desprovistos tanto de materia como principio de individuación como de materia sensible. Los objetos no pueden existir sin materia pero pueden ser concebidos sin ella.
3. El tercer grado de abstracción es el de la Metafísica. En él, se consideran los objetos desprovistos de toda materia. Los objetos pueden existir sin materia y ser concebidos sin ella.

Los *tres grados* de abstracción; de entre los que el tercero es de aceptación muy discutida; se sitúan en los escalones clásicos de la *tres grandes ciencias* de Kant⁽¹⁰⁾: la física, la matemática y la metafísica. Sin embargo Palacios⁽¹¹⁾ que considera que Kant distinguía entre objeto como *cosa independiente del sujeto*, u objeto per se, y objeto *como es considerado por el sujeto cognoscente*, habla de cuatro grados de abstracción:

1. El primer grado de abstracción es el matemático, que atañe a los conceptos abstractos que son reflejo no intuitivo de las intuiciones puras del espacio y el tiempo.
2. El segundo grado de abstracción es el físico, que concierne a los conceptos abstractos que son reflejo del mundo de las intuiciones empíricas. (...)Pero mientras la intuición empírica es una representación que se refiere al objeto singular por medio de una sensación individualísima, el concepto abstracto se refiere al objeto sensible por medio de una característica común a varias cosas. (...)Se llaman abstractos por no ser singulares, por haber abandonado la diferencia numérica; pero no han abandonado la materia empírica y sensible, y tienen, por tanto, un modo de inteligibilidad muy diferente al de los conceptos matemáticos, del primer grado de abstracción que son el tiempo y el espacio *vacíos*.
3. El tercer grado de abstracción compete a los conceptos abstractos que abandonan el espacio, el tiempo y la materia, pero llevan en su contenido una pretensión de realidad que apunta hacia una existencia inmaterial(...)Es la abstracción metafísica.

4. El cuarto grado de abstracción, que es el más elevado, se refiere a conceptos que no representan ninguna realidad, ni tienen pretensión alguna de representarla(...)Es la abstracción lógica.

La abstracción lógica de Palacios es, no obstante, indistinguible de la abstracción matemática pues, ciertamente, que ésta, en efecto, se refiere a conceptos que ni representan una realidad ni tienen la intención de hacerlo. Además, los conceptos abstractos pueden ser reflejos intuitivos de realidades físicas. También lo que llama abstracción metafísica es, en definitiva, abstracción matemática, tanto en orden a los niveles que establece Ferrater como en orden a los que establece Palacios. La abstracción física como *reflejo de las intuiciones empíricas* sí se distingue nítidamente de la matemática.

Losee⁽¹²⁾ escribe que Hume decía que Descartes se equivocaba al afirmar que hay ideas que son innatas de la mente y que *las impresiones sensibles constituyen la única fuente de conocimiento*. De modo que Hume asume la afirmación de Aristóteles de que *no hay nada en el intelecto que no estuviese previamente en los sentidos*: “Todas nuestras ideas no son sino copias de nuestras impresiones, o, en otras palabras, que nos es imposible pensar en ninguna cosa que no hayamos sentido anteriormente, sea mediante los sentidos externos, sea mediante los internos”. Es muy interesante la observación de Losee al respecto:

Hume restringió el ámbito de los conceptos empíricamente significativos a aquellos que pudieran ser “derivados de” impresiones.(...)En otra parte del *Enquiry*, sugirió que el papel de la mente a la hora de generar conocimiento queda reducido a unir, trasponer, aumentar o disminuir las ideas “copiadas” de las impresiones.

Siguiendo a Hume habría que determinar “que la ciencia comienza con impresiones sensibles y solo puede abarcar aquellos conceptos que de alguna manera *se construyen* a partir de los datos sensibles”⁽¹²⁾. Y, en tal caso, excluir a la Matemática de la Ciencia y dejar que aquella se mantenga en un ámbito abstracto situado más allá de esos “datos sensibles”

Observación y ciencia empírica

Como advierte Wartofsky⁽⁶⁾ “en filosofía de la ciencia se distingue a veces entre ciencia formal y ciencia fáctica”. Estaríamos hablando de la matemática y la lógica, cuyos objetos e instrumentos son modelos o sistemas formales, conceptos primitivos y abstractos, construidos sobre un tejido proposicional deductivo, y de las ciencias cuyo objeto es la realidad misma percibida a través de la experiencia ya sea por observación o por experimentación. Esta división sería satisfactoria si admitiésemos a la Lógica y a la Matemática entre las ciencias. El propio Wartofsky dice que son “*sistemas lingüísticos de inferencia deductiva* cuyos elementos son o bien términos formales o abstractos definidos dentro del sistema, o términos *primitivos* no definidos con respecto a los cuales se definen todos los demás”⁽⁶⁾. Si, como se señaló al principio, reservamos la denominación de *ciencia* para las *disciplinas que discurren a través del método científico* no podemos aplicársela ni a la lógica ni a la matemática. Mejor parece restringir la denominación a las ciencias naturales y hablar, en efecto, de *sistemas lingüísticos de inferencia deductiva* para las, en algunos caso, llamadas ciencias formales. Bastaría, en tal caso, referirse a la *ciencia fáctica*, simplemente, con la palabra *ciencia*.

“Desde un punto de vista cognoscitivo, la matemática no es una parte de la ciencia, ni está subordinada a la ciencia como un todo.(...) Ontológicamente la matemática y la ciencia tienen contenidos diferentes, y esta diferencia no se puede salvar a no ser por una deliberada identificación. Toda ciencia natural se ocupa del *mundo exterior*, sea esto lo que sea. (...)La matemática (...)solo trabaja con objetos de su propia percepción *estética* y de generación apriorística, y estos objetos se conciben y se crean internamente, y se estructuran mentalmente, a pesar de que su apariencia sea tangible, rea, idéntica y, de alguna manera, comunicable y compartible”⁽¹⁴⁾

Sí es conveniente distinguir entre *observación* y *experimentación*. Se *observa* cuando no se interviene, se *experimenta* cuando se actúa sobre lo observado o cuando se observa aquello sobre lo que se actúa con alguna intención. En cualquier caso, *empirismo* es *conocer por medio de los sentidos* ya sea lo observado o lo experimentado. *Racionalismo* sería conocer a través del razonamiento *por medio de un proceso deductivo*. Racionalismo y empirismo podrían ser las dos formas o actitudes ante el conocimiento que inducirían a establecer la distinción entre ciencia formal y ciencia fáctica en el supuesto de que no optáramos radicalmente por limitar el uso de la palabra ciencia aplicándolo solamente a las disciplinas apoyadas en el método científico.

Sistemas formales

Un *sistema formal* es un contenido de unidades referenciales abstractas interrelacionadas entre sí y, eventualmente, con el exterior, constituyendo un todo organizado y diferenciado.

“Un sistema puede ser definido –dice Von Bertalanffy⁽¹⁵⁾– como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí y con el medio circundante”.

La palabra *sistema* es empleada en el lenguaje ordinario como un *todo organizado* o *regulado* en el que no necesariamente se integran las *unidades para las que* aquel ha sido ideado. Se habla, por ejemplo, del sistema educativo para referirse al conjunto de instituciones y leyes que permiten regular la educación de los ciudadanos; pero, estos no son *parte* del sistema sino *objetos sobre los que se aplica* el sistema. El sistema sanitario alude a las *instituciones* que forman la red de atención sanitaria y a las *normas* que *regulan* su funcionamiento. Se podría considerar o no a los profesionales como parte del sistema pero no así a los enfermos que, sin embargo, son los *elementos para los que* ha sido creado el sistema. Puede entenderse, entonces, que un *sistema es un conjunto de unidades y el marco regulador* de su funcionamiento interno y de su relación con el medio.

En los sistemas formales, por ejemplo, los sistemas numéricos, las unidades referenciales o referenciadas son símbolos abstractos que, en este caso, llamamos *números* y un conjunto de normas que dirigen su interrelación mutua y, eventualmente, sus acciones sobre otros sistemas, quizá otro sistema numérico, sin que sea relevante lo que pudiera haber inspirado o motivado su existencia.

Estructura

Una *estructura* es un conjunto y una *relación binaria* o, alternativamente, una *operación*. La relación binaria *ordena* o *clasifica*, la operación conduce a un *resultado*.

Modelo matemático

Un *modelo matemático* es la traducción al lenguaje matemático de una realidad, de una supuesta realidad o de conjunto de unas u otras que admiten una unificación formal⁽¹⁶⁾. Las *variables* del modelo son los símbolos a través de los que se introducen los valores para su procesamiento y, si los tuviere, los *parámetros* diversifican su realización o dispersan sus posibles concreciones. El *modelo normal* o de Gauss, por ejemplo, es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty; \quad -\infty < \mu < \infty, \quad \sigma \geq 0$$

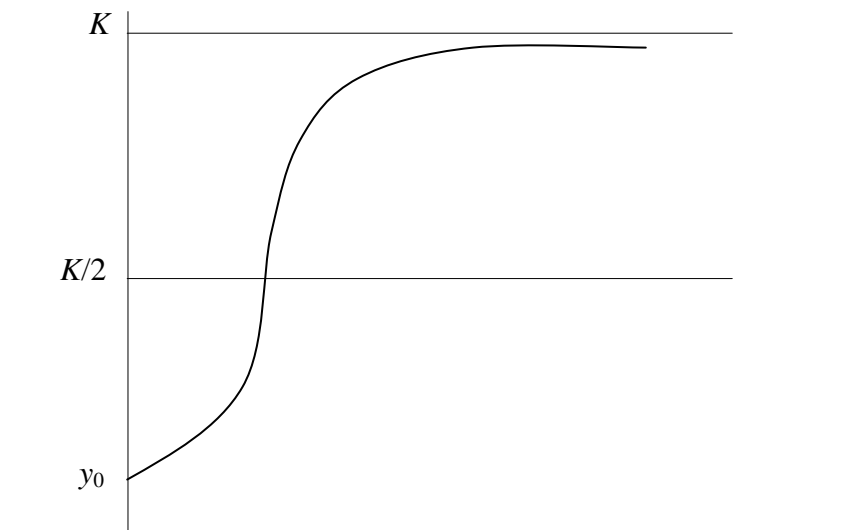
cuya lectura expresa que x es la variable de entrada o independiente y su campo de variación es toda la recta real, y μ , σ son parámetros, el primero tomando valores sobre la recta real y el segundo sobre la semirrecta no negativa. Se trata pues de un modelo biparamétrico.

Un modelo matemático es *determinístico* cuando expresa un proceso en el que implementando sus variables puede conocerse el resultado sin que el proceso se realice. Un ejemplo importante de *modelo determinístico* es la *ecuación logística*⁽¹⁷⁾ ⁽¹⁸⁾:

$$y'(t) = ry(t) \left(1 - \frac{1}{K} y(t) \right) \quad t > 0; \quad -\infty < r < \infty, \quad K > 0$$

donde $y(t)$ es otro modo de escribir $f(t)$, t es la variable de entrada y r , K son parámetros. La solución o *curva integral* de la ecuación logística conduce a la *ley logística* que expresa la evolución dinámica de una población para el *valor inicial* $y_0 = y(0)$:

$$y(t) = \frac{Ky_0}{y_0 + (K - y_0)e^{-rt}} \quad t > 0; \quad K, y_0 > 0$$



Fijados los parámetros K , y_0 , un valor de t determina el contingente de población sin que haya que esperar a que transcurra el tiempo t para contabilizarlo.

Un modelo matemático es *probabilístico* cuando es una *distribución de probabilidad*. Las *variables* en un modelo probabilístico son *variables aleatorias*; es decir, están asociadas al espacio muestral de un experimento aleatorio. Si la *va* es discreta: es decir, su recorrido es un conjunto numerable, entonces $f(x)$ es una probabilidad asignada a cada valor x tomado por la *va* X , del siguiente modo:

$$f(x) = p(X = x)$$

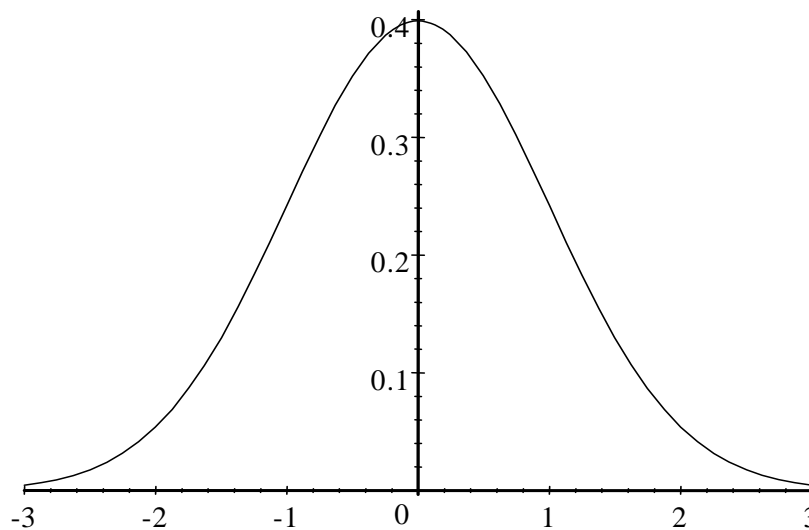
Si la *va* X es continua, entonces existe una función integrable $f(x)$; tal que:

$$p(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$$

Para la parametrización: $\mu=0$, $\sigma=1$, la representación geométrica del modelo normal es la siguiente:

Hipótesis

En el lenguaje ordinario se entiende por *hipótesis* algo similar a un supuesto o a una propuesta. No hay diferencia, en sentido estricto, con lo que se entiende por hipótesis en el contex-



to de la ciencia, incluso de la ciencia formal. Sin embargo es necesario matizar. Una *hipótesis* es una propuesta que *ha de ser razonable*, y razonable en la ciencia significa que es fruto de la *observación interesada* y se ha preparado para la contrastación. En el lenguaje matemático, una hipótesis es un supuesto tenido o mantenido como verdad para construir admitiéndolo un discurso deductivo. La *hipótesis estadística* es una hipótesis formulada precisamente para su contrastación.

Una situación simple sería la consideración de la implicación lógica, $P \Rightarrow Q$ (en lógica formal se emplea \rightarrow en lugar de \Rightarrow), P sería la *hipótesis* y Q la *tesis*. Se *obtiene* Q como consecuencia de P .

La *contrastación* es la formulación de una prueba para contrastar una hipótesis que se da como cierta, la *hipótesis nula*, H_0 , disponiendo de su contraria o *hipótesis alternativa*, H_1 . Los riesgos de aceptación o rechazo se cuantifican a través de los coeficientes α y β ⁽¹⁶⁾:

$$\alpha = p(\neg H_0 | H_0), \quad \beta = p(H_0 | \neg H_0)$$

Inducción

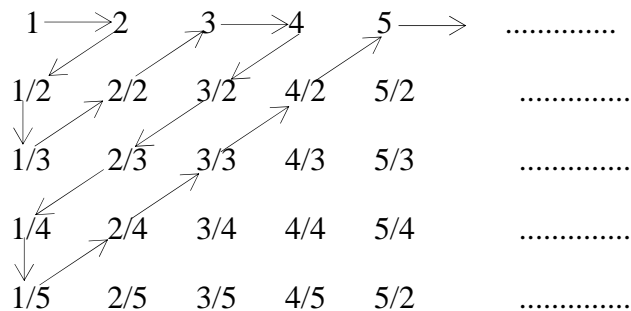
La *inducción (empírica)* es un modo de proceder en las ciencias que consiste en asumir como cierto lo que ha sido observado habitualmente.

“Todas las leyes científicas descansan sobre la inducción; la cual, considerada como un proceso lógico, está abierta a la duda, y no es capaz de dar certeza. Hablando claramente, un argumento inductivo es del género siguiente: Si cierta hipótesis es verdadera, entonces tales y cuales hechos serán observables; ahora bien, estos hechos son observados; consiguientemente, la hipótesis es probablemente verdadera. Un argumento de esta clase tendrá grados de validez según las circunstancias. Si pudiésemos probar que ninguna otra hipótesis es compatible con los hechos observados, podríamos llegar a la certeza; pero esto es apenas posible. En general, no habrá método para pensar en todas las hipótesis posibles, o, si lo hay, se encontrará que más de una de ellas es compatible con los hechos. Cuando sucede esto, el hombre de ciencia adopta la más sencilla, como hipótesis de trabajo, y solo acude a hipótesis más complicadas cuando nuevos hechos prueban que la hipótesis más sencilla es inadecuada”⁽¹⁹⁾

El conocimiento inductivo *genera incertidumbre*. La ciencia no dispone, al margen de la Matemática, de *instrumentos de cuantificación* de esa incertidumbre. No es posible responder a preguntas tales como: ¿Cuántas veces habré de observar un fenómeno para admitirlo como verdad?, ¿cuánto riesgo al asumir, en un determinado momento, que lo observado es siempre cierto?

El principio de inducción (matemática)

Una vez que consideramos la inducción en el contexto de la Matemática, la ambigüedad desaparece. Los números naturales: 1, 2, 3, 4,, forman una *sucesión infinita*, una sucesión *sin fin* porque puede prolongarse *más allá de cualquier límite*. No son los únicos números, *sirven para contar pero no sirven para medir*, son origen de múltiples inspiraciones generalmente asociadas a *procesos infinitos* pero no son suficientes para satisfacer incluso necesidades elementales. Cuando un conjunto es *finito*; es decir, *sus elementos pueden ser contados*, los números naturales se utilizan no en su calidad de *ordinales* o *señaladores de un orden*, sino como *cardinales*, el cardinal de un conjunto es el número de elementos que lo integran. Pero, parece que los números naturales *también sirven para contar sin que necesariamente se acabe alguna vez de hacerlo*. Así es, en efecto. En matemáticas *un conjunto discreto* es un conjunto que puede ser *numerado*; es decir, puesto en correspondencia biunívoca con \mathbb{N} o con una parte de \mathbb{N} . Un discreto es, por tanto, un conjunto finito o *infinito numerable*. El conjunto de los *racionales* es un conjunto discreto porque *puede ser numerado*:



Consideremos ahora una proposición P_n que pueda ser relacionada con el número natural n . El *principio de inducción* dice: P_n es cierta si P_1 es cierta y si $P_k \Rightarrow P_{k+1} \forall k$. Una demostración por inducción es, por ejemplo la siguiente:

Se afirma que la suma de los n primeros números naturales es $n(n+1)/2$; en efecto:

Tomemos los dos primeros, 1 y 2; es verdad que $2(2+1)/2=1+2$.

Supongamos que es cierto para $n=k$: $k(k+1)/2=1+2+3+4+5+6+.....+k$, entonces:

$1+2+3+4+5+6+\dots+k+(k+1) = k(k+1)/2+(k+1)=(k+1)(k+2)/2$; es decir, es cierto para $n=k+1$.

El conjunto \mathbb{N} , también llamado de los *enteros no negativos*, puede ser construido axiomáticamente y entonces las propiedades a las que estamos habituados simplemente por la experiencia de asumirlas, serían demostrables como teoremas. La construcción axiomática de \mathbb{N} se hace auxiliándose de una aplicación s , *uno a uno*, que asocia a un elemento de \mathbb{N} su *sucesor*. Los axiomas son los siguientes:

- i: La imagen de s , ims , está propiamente contenida en \mathbb{N} : $ims \subset \mathbb{N}$, $ims \neq \mathbb{N}$.
- ii: Si un elemento u de \mathbb{N} no está en ims y $S \subset \mathbb{N}$ es tal que $u \in S$, $s(u) \in S \Rightarrow S = \mathbb{N}$.

Este segundo axioma es conocido precisamente con el nombre de *axioma de inducción* y cuando un subconjunto de \mathbb{N} es tal que contiene a los sucesores de sus elementos, se llama *conjunto inductivo*. Evidentemente todo conjunto inductivo es infinito y si S es inductivo y contiene al 1, entonces es \mathbb{N} , pues el 1 es el único número natural que no es sucesor de otro.

Probabilidad

La *probabilidad* es un concepto matemático construido par formalizar una teoría que permita *matematizar la incertidumbre*. Se trata de cuantificar los posibles resultados de un experimento en el que no puede establecerse a priori cual es el que obtendrá al realizar una prueba. La probabilidad es una ponderación en el intervalo cerrado o segmento de extremos 0 y 1 de los *sucesos* de un experimento aleatorio.

La inspiración del concepto está en los juegos de azar. Admitimos sin dificultad ni duda que un dado equilibrado puede dar lugar *con igual probabilidad* a cualquiera de los resultados fijados en sus seis caras. Ello nos invita a asociar $1/6$, una posibilidad entre seis, a cada una de sus caras y en ese momento hemos asociado una probabilidad a los sucesos del *espacio muestral* que es el espacio de resultados del experimento aleatorio; sabremos contestar a preguntas tales como ¿cuál es la probabilidad de que al jugar salga par? o ¿qué es más probable que salga, un múltiplo de 2 o un número impar?. La probabilidad de que salga un número par es $1/2$ porque la mitad de los resultados son pares o porque es la suma de las probabilidades asociadas al 1, al 3 y al 5. Es más probable que salga un número impar que un múltiplo de 2 porque, supuesto que no consideremos al propio 2, sólo se dispone de dos múltiplos, el 4 y el 6, mientras que hay tres impares.

De modo que la intuición y la razón son suficientes para tener una idea razonable acerca de que la probabilidad es la ponderación de unos de unos sucesos cuya presentación no es posible conocer a priori.

No obstante, cuando la probabilidad se incorpora a la doctrina de la Matemática es cuando el concepto está lo suficientemente bien construido para soportar el rigor metodológico que se le impone para serlo y cuando su axiomática puede responder sin ambigüedad ni excepción ante cualquier propuesta, a la pregunta: ¿Es esto una probabilidad?.

Leyes y teorías

Son los referentes de la *explicación científica*⁽⁶⁾. El término *ley* no suele emplearse en la Matemática porque es sobre todo una *norma* o *regla* que señala algo que ha de cumplirse *sin*

justificar por qué ha de cumplirse. Una *ley* es una supuesta verdad establecida por inducción (empírica). Las pocas veces que se emplea en matemáticas se hace por razones históricas. Al demostrar matemáticamente el cumplimiento de una ley se convierte a ésta en un teorema. Por ejemplo, la *Ley de Hardy-Weinberg*.

Una *teoría* es la *explicación científica* de un acontecimiento o conjunto de acontecimientos que constituyen una realidad. La palabra teoría se emplea en matemáticas con un sentido diferente, una *teoría (matemática)*; por ejemplo, la Teoría de la Probabilidad; es el tejido formal que sustenta una unidad de conocimientos sin considerar sus posibles derivaciones, consecuencias o aplicaciones.

Referencias

- (1) Ferrater Mora, J.: *Diccionario de Filosofía*, I y II (5ª ed.). Sudamericana, Buenos Aires 1965.
- (2) Pérez de Vargas, A. y Martínez Calvo, M^aC.: *Estadística Biométrica*. Síntesis, Madrid 2000.
- (3) Chamlers, A.F.: *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?*. Siglo XXI, Madrid 1982.
- (4) Hempel, C.G.: *Filosofía de la Ciencia Natural*. Alianza, Madrid 1973
- (5) Russell, B.: *El conocimiento humano*. Taurus, Madrid 1977
- (6) Wartofsky, M.W.: *Introducción a la filosofía de la ciencia* 1 y 2. Alianza, Madrid 1968
- (7) Pérez Ballestar, J.: *Planteamiento intensional de la Teoría de la Ciencia*. En *Lógica, epistemología y teoría de la ciencia*. Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 1981
- (8) Aristóteles : *Metafísica*. Espasa Calpe, Madrid 1981
- (9) Grassé, P.P.: *Evolución de lo viviente*. Hermann Blume, Madrid 1984
- (10) Kant I.: *Crítica de la razón pura*. Alfaguara, Madrid 1984
- (11) Palacios, L.E.: *Filosofía del saber*. Gredos, Madrid 1974
- (12) Losee, J.: *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Alianza, Madrid 1976
- (13) Hume, D.: *An enquiry concerning human understanding*. The Open Court Pub. Co., Chicago 1927
- (14) Bochner, S.: *El papel de la matemática en el desarrollo de la ciencia*. Alianza, Madrid 1966
- (15) Bertalanffy, L. von: *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica, Madrid 1976
- (16) Pérez de Vargas, A. y Abaira, V.: *Bioestadística*. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid 1996
- (17) Martínez Calvo, M.C. y Pérez de Vargas, A.: *Métodos Matemáticos en Biología*. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid 1993
- (18) Martínez Calvo, M.C. y Pérez de Vargas, A.: *Problemas de Biomatemática*. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid 1995
- (19) Russell, B.: *La perspectiva científica*. Ariel, Barcelona 1981
- (20) Pérez de Vargas, A.: *Sobre la ley de Hardy-Weinberg*. Boletín nº 57 de la Sociedad "Puig Adam" de Profesores de Matemáticas, Madrid 2001