Jesús Mosterín

LA ESTRUCTURA DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS I

Número 7

CIENCIA AL VIENTO

La estructura de los conceptos científicos. I

Jesús Mosterín

Número 7

Febrero, 2014

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional de Colombia

Títulos publicados

1. Gerard Holton, *Las falsas imágenes de la ciencia* (septiembre, 2012).
2. Rodolfo Llinás, *El reto: educación, ciencia y tecnología* (noviembre, 2012).
3. Mario Bunge, *La filosofía de la investigación científica en los países en desarrollo* (febrero, 2013).
4. Eduardo Laso, *La concepción heredada y los métodos de validación científicos. I* (mayo, 2013).
5. Eduardo Laso, *La concepción heredada y los métodos de validación científicos. II* (agosto, 2013).
6. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace, *Selección natural: tres fragmentos para la historia* (noviembre, 2013).

Presentación

Los conceptos son las unidades más básicas, y por ello mismo imprescindibles, de toda forma de conocimiento humano, y en especial del conocimiento científico. La experiencia humana, si no pasara a través del tamiz de un sistema conceptual, sería “ciega”, es decir, no nos permitiría *comprender* lo que experimentamos.

En este número de Ciencia al Viento reproducimos el artículo *Los conceptos científicos* del profesor Jesús Mosterín. Este artículo apareció en enero de 1978 en Investigación y Ciencia y posteriormente como un capítulo del libro *La Estructura de los Conceptos Científicos* (Alianza Editorial, Madrid, 2000).

La reproducción de este artículo se hace en dos partes: el volumen actual (febrero, 2014) que contiene la primera parte, y el próximo volumen (mayo, 2014) que contendrá la segunda parte.

Agradecemos al profesor Jesús Mosterín y a la redacción de `Investigación y Ciencia` por permitirnos reproducir este artículo. Las ilustraciones son de Antoni Sellés.

Victor Tapia

La estructura de los conceptos científicos. I

Jesús Mosterín

La asombrosa variedad de los conceptos usados en la ciencia es reducible a sólo tres tipos distintos. El estudio de la estructura matemática de cada uno de ellos arroja nueva luz sobre la comprensión de la conceptualización científica.

1. Introducción

El mundo bombardea continuamente con todo tipo de radiaciones, roces, mensajes. Y el aparato sensorial selecciona y procesa esa información bruta que llega del mundo. Si se tuviera otro aparato sensorial diferente del que se tiene, se percibiría el mundo de distinto modo. Si la retina fuese sensible a otro intervalo distinto del espectro electromagnético, se vería un paisaje infrarojo o ultravioleta muy distinto del que se ve. Si los oídos fueran sensibles a otras frecuencias, se escucharía un mundo ahora inaudito. Y si se tuviera sentidos sensibles a la radiactividad o al magnetismo, se percibiría el mundo de un modo ahora inimaginable. Esto no significa que los sentidos inventen el mundo ni que las percepciones no sean objetivas. Tan objetiva es una foto en blanco y negro como una foto en color y como una radiografía. Pero el aparato sensorial condiciona la percepción del mundo y determina las pautas en las que ésta es posible. El mundo percibido es la resultante de al menos dos factores: el aparato sensorial y el mundo exterior.

De igual modo, lo que se piense y se diga del mundo no depende sólo de él, sino también del sistema conceptual, que selecciona, condiciona y determina los aspectos del mundo que se tienen en cuenta, en los que se piensa y de los que se habla. El mundo pensado es también la resultante de al menos dos factores: el sistema conceptual y el mundo real.

En la actividad científica se tiene que partir del aparato sensorial y del sistema conceptual plasmado en el lenguaje ordinario o común. Pero difícilmente podría ponerse en marcha la empresa científica si no fuera posible trascender las limitaciones del aparato sensorial y conceptual. Mediante instrumentos materiales apropiados, que son como extensiones de los sentidos —telescopios, microscopios, cámaras fotográficas y de cine, balanzas, voltímetros, cuentarrevoluciones, veletas, brújulas, barómetros, magnetófonos, antenas de radio, etc.— se puede discriminar mucho más finamente que con los sentidos y se pueden captar mensajes y radiaciones inasequibles al aparato sensorial. De igual modo, se puede extender y precisar el sistema conceptual introduciendo conceptos más precisos y de mayor alcance que los del lenguaje ordinario, conceptos científicos que permiten describir hechos y formular hipótesis con una precisión y universalidad crecientes.

El progreso de la ciencia no siempre consiste en el aumento del número de verdades que se conocen. La noción de verdad es relativa a la de enunciado, y ésta a la de concepto. Qué verdades haya depende de qué conceptos se empleen. Y muchas veces el progreso de la ciencia consiste no en un aumento del número de verdades expresadas con un sistema conceptual dado, sino en el cambio del sistema conceptual, en su ampliación o extensión o en su sustitución por otro.

El mundo no está estructurado de por sí de un modo único. Este se estructura al proyectar sobre él los conceptos. Así, propiedades como la temperatura o la inteligencia no son intrínsecamente cualitativas o cuantitativas, sino que ese carácter sólo está en los conceptos que se empleen para hablar de ellas. Sin embargo, una vez introducidos ciertos conceptos de un determinado modo, ya no se podrá usarlos al antojo, sino sólo siguiendo los perfiles que la realidad adopte al proyectar sobre ella dichos conceptos.

El importante papel desempeñado por los conceptos en la teorización científica ha despertado el interés de los metodólogos y filósofos de la ciencia, que en las últimas dos décadas les han prestado una atención especial. Lo primero que salta a la vista es la gran variedad de los conceptos científicos. Unos —como *pez*, *fuerza* o *calor*— proceden del lenguaje ordinario o común, algunas de cuyas nociones intuitivas precisan; otros —como *ARN mensajero*, *fonema* o *entropía*— constituyen creaciones artificiales ligadas a nuevos descubrimientos o teorías. Pero unos y otros se articulan de mil modos distintos en el seno de teorías múltiples e irregulares. ¿Cómo hincar el diente en esta profusión de conceptos distintos? La investigación reciente ha mostrado que uno de los puntos de vista más fecundos para el estudio metacientífico de los conceptos es el de su estructura formal o matemática. De hecho, la profusa variedad de los conceptos científicos se reduce desde este punto de vista a unos pocos tipos básicos, fundamentalmente a tres:

1. los conceptos clasificatorios,

2. los conceptos comparativos, y

3. los conceptos métricos.

2. Clasificaciones. Condiciones formales de adecuación

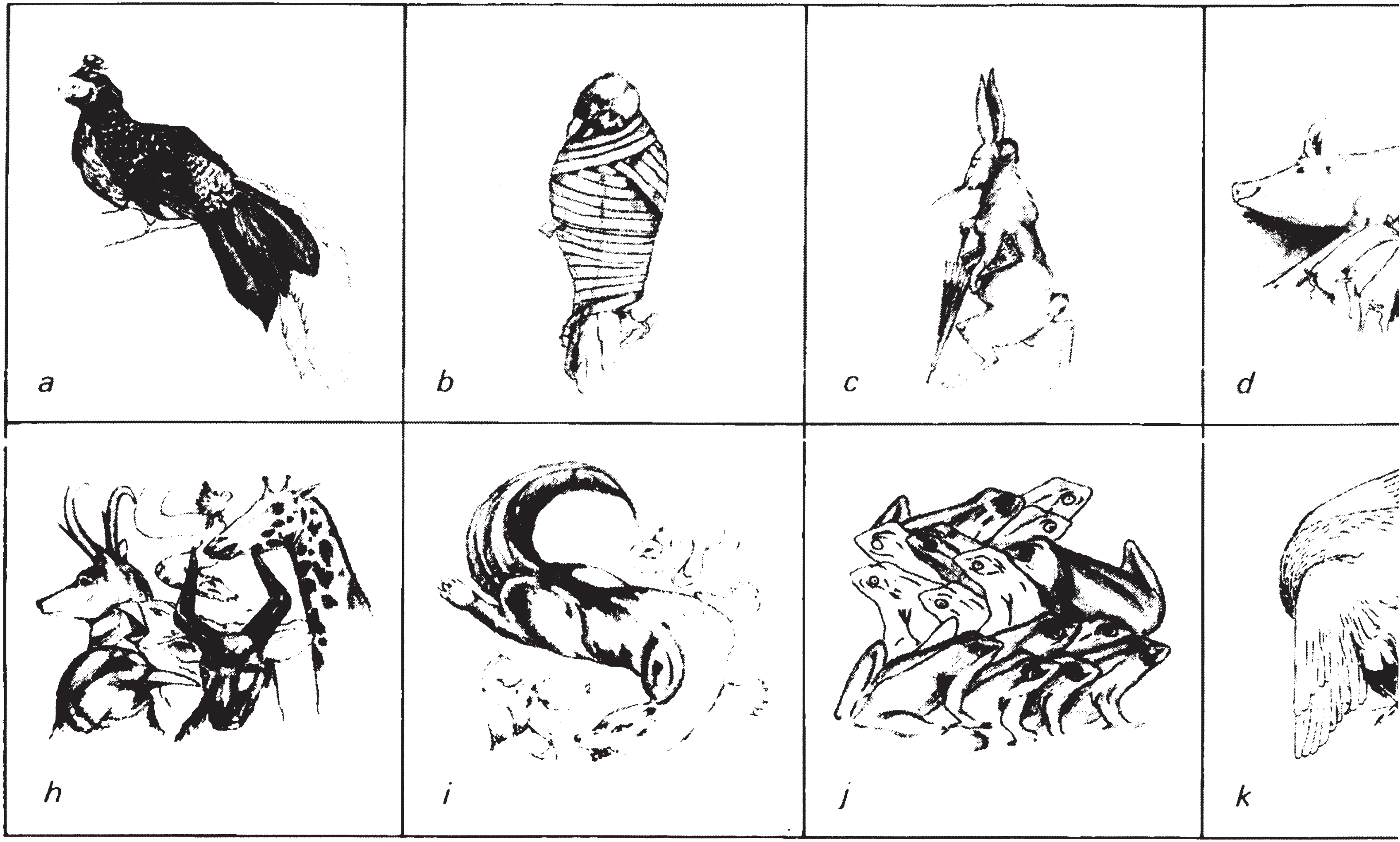
Un concepto clasificatorio sirve para referirse a un grupo determinado de objetos o sucesos que tienen algo en común. Los sustantivos y adjetivos del lenguaje ordinario suelen corresponder a conceptos clasificatorios: hombre, mujer, árbol, camión, azul, puntiagudo, muerto. Algunos de los conceptos clasificatorios del lenguaje ordinario —*bicho*, *pájaro*, *enorme*— son demasiado vagos para poder ser incorporados en el lenguaje científico, pues no determinan en forma única la clase de las cosas a las que se aplican. Sin embargo, otros, más precisos —como *urraca*, *olmo* o *hirviente*— pueden ser incorporados sin más trámite que el de la explicitación de las notas comunes a todos los objetos a los que se aplican. De todos modos, el repertorio de conceptos clasificatorios de un lenguaje natural determinado —sea el náuhatl o el inglés, el swahili o el italiano— es siempre muy limitado y claramente insuficiente para las necesidades de la ciencia. Así, cada pueblo suele disponer de conceptos de los animales y plantas visibles y frecuentes en la zona que habita, pero no de los seres vivos invisibles a simple vista o de los animales de otras partes del mundo. Por ello, las comunidades científicas se ven obligadas a introducir numerosos conceptos clasificatorios nuevos y artificiales en el lenguaje científico.

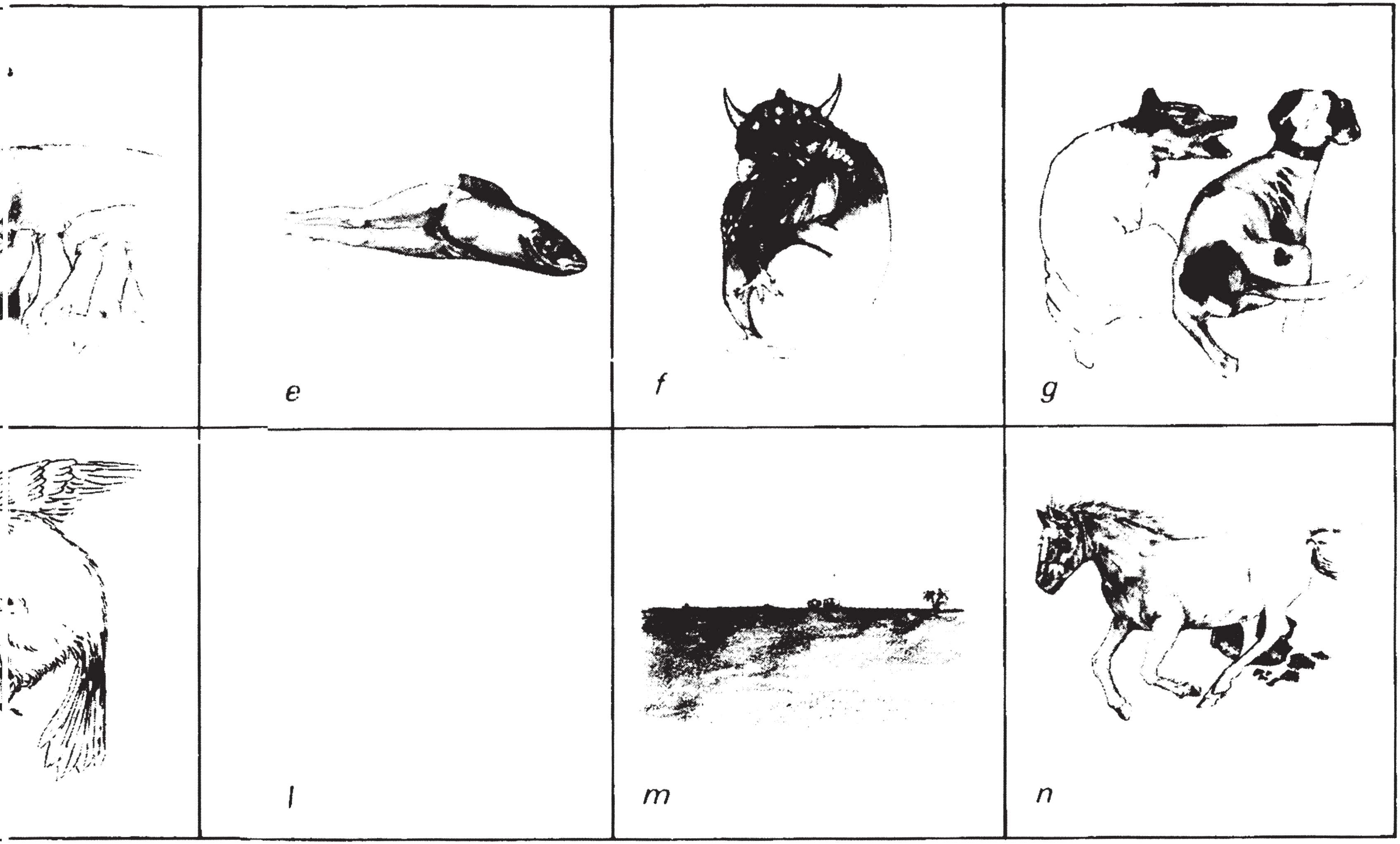
En la ciencia, los conceptos clasificatorios no suelen introducirse aisladamente, sino en conjuntos llamados *clasificaciones*. Para que una clasificación —o sistema de conceptos clasificatorios— sea aceptable ha de cumplir dos tipos de condiciones de adecuación. Por un lado, unas condiciones formales de adecuación, comunes a todas las ciencias, y, por otro, ciertas condiciones materiales de adecuación peculiares de la ciencia de que se trate.

En una de sus obras (*El idioma analítico de John Wilkins*), el escritor argentino Jorge Luis Borges cita una imaginaria enciclopedia china, según la cual "los animales se dividen en (a) pertenecientes al Emperador, (b) embalsamados, (c) amaestrados, (d) lechones, (e) sirenas, (f) fabulosos, (g) perros sueltos, (h) incluidos en esta clasificación, (i) que se agitan como locos, (j) innumerables, (k) dibujados con un pincel finísimo

de pelo de camello, (l) etcétera, (m) que acaban de romper el jarrón, (n) que de lejos parecen moscas". Esta presunta clasificación choca y sorprende porque viola completamente las condiciones formales de adecuación que se espera satisfaga. En efecto, aunque el ámbito de objetos a clasificar parece ser el de los animales, algunos de los conceptos no se refieren a animales (como los dibujados con un pincel o las sirenas), otros no se sabe a qué se refieren (etcétera), los mismos animales caen bajo varios de estos conceptos (pertenecientes al Emperador, amaestrados), hay

Figura 1. Clasificación fantástica de los animales en la enciclopedia china imaginada por Borges, según la cual "los animales se dividen en (a) pertenecientes al Emperador, (b) embalsamados, (c) amaestrados, (d) lechones, (e) sirenas, (f) fabulosos, (g) perros sueltos, (h) incluidos en esta clasificación, (i) que se agitan como locos, (j) innumerables, (k) dibujados con un pincel finísimo de pelo de camello, (l) etcétera, (m) que acaban de romper el jarrón, (n) que de lejos parecen moscas".


a
b
c
d
h
i
j
k


e
f
g
l
m
n

animales que no caen en ninguno de estos conceptos, y así sucesivamente.

En general, cuando se habla de una clasificación se espera que esté perfectamente delimitado cuál sea el ámbito o dominio de individuos que se va a clasificar, que a cada concepto clasificatorio corresponda al menos un individuo de ese ámbito, que ningún individuo caiga bajo dos conceptos clasificatorios distintos y que todo individuo del ámbito en cuestión caiga bajo alguno de los conceptos de la clasificación.

La extensión de un concepto es la clase de las cosas a las que ese concepto se aplica. Si se identifican los conceptos clasificatorios con sus extensiones, entonces se puede resumir las condiciones formales de adecuación de una clasificación diciendo que la clasificación debe constituir una partición, en el sentido matemático de este término.

Sea A una clase de objetos. Sean $B_1, \cdots, B_n$ partes de A, es decir, clases de objetos de A. Decimos que $H = \{B_1, \cdots, B_n\}$ es una *partición* de A si y sólo si se cumplen las siguientes tres condiciones:

1. ninguna de las clases $B_1, \cdots, B_n$ es vacía,

2. no hay ningún elemento común a dos de ellas, y

3. entre todas abarcan a todos los elementos de A.

Así, la clasificación de los mamíferos en órdenes (monotremas, marsupiales, insectívoros, dermópteros, quirópteros, primates, etc.) constituye una partición del conjunto de los mamíferos.

3. Particiones y relaciones de equivalencia

El concepto de partición está estrehcamente ligado al de relación de equivalencia. Como es bien sabido, una relación de equivalencia es una relación reflexiva, simética y transitiva. Es decir, una relación R es una *relación de equivalencia* en una clase A si y sólo si

1. todo individuo de A está en la relación R consigo mismo,

2. si X está en la relación R con y, entonces y está en la relación R con x, y

3. siempre que u esté en la relación R con w y w con z, también u está en la relación r con z.

Por ejemplo, la identidad es una relación de equivalencia, así como también lo es la de paisanaje entre humanos y la de congruencia entre triángulos.

Sea R una relación de equivalencia en A. Sea x un elemento de A. Mediante x_R designamos la clase de equivalencia de x respecto de R, es decir,

$$x_R = \{y \in A \,|\, y \, R \, x\}\,.$$

De aquí se sigue que las clases de equivalencia de x y y respecto a R serán la misma si y sólo si x está en la relación R con y.

Llamemos *conjunto cociente* de A respecto a R (en signos A/R) al conjunto de todas las clases de equivalencia de elementos de A respecto a R, es decir,

$$A/R = \{x_R \,|\, x \in A\}\,.$$

Tabla 1. Una definición precisa y concisa de las nociones de relación de equivalencia, partición y sistema comparativo se puede obtener mediante el uso de signos lógicos y matemáticos apropidos —como los introducidos en la parte superior del presente cuadro— y de letras y variables, que expresan la generalidad de dichas nociones, aplicables en los más diversos contextos y situaciones.

$\neg \cdots$	:	no $\cdots$
$\cdots \wedge \cdots$	:	$\cdots$ y $\cdots$
$\cdots \vee \cdots$	:	$\cdots$ o $\cdots$
$\cdots \Rightarrow \cdots$	:	$\cdots$ entonces $\cdots$
$\cdots \Leftrightarrow \cdots$	:	$\cdots$ si y sólo si $\cdots$
$\forall x$	:	para todo x
$\exists x$	:	hay un x tal que
$\cdots \in \cdots$	:	$\cdots$ es elemento de $\cdots$
$\cdots \notin \cdots$	:	$\cdots$ no es elemento de $\cdots$
$\cdots \subset \cdots$	:	$\cdots$ está incluido en $\cdots$
$\emptyset$	:	conunto vacío
$\cdots \times \cdots$	:	producto cartesiano de $\cdots$ por $\cdots$
$\mathcal{P} \cdots$	:	conjunto de las partes de $\cdots$
$\cdots < \cdots$	:	$\cdots$ es menor que $\cdots$
$\cdots = \cdots$	:	$\cdots$ es igual a $\cdots$
$\cdots \neq \cdots$	:	$\cdots$ es diferente de $\cdots$

Sea $R \subset A \times A$

R es una relación de equivalencia en A	$\Leftrightarrow$	$\forall x \in A : xRx$ $\forall xy(xRy \Rightarrow yRx$ $\forall xyz(xRy \wedge yRz \Rightarrow xRz$

Sea $H \subset \mathcal{P}A$

H es una partición de A	$\Leftrightarrow$	$\emptyset \in H$ $\forall xy \in H :$ $(x \neq y \Rightarrow x \cap y = \emptyset)$ $\cup H = A$

Sean
$K \subset A \times A$
y $P \subset A \times A$

$< A, K, P >$ es un sistema comparativo	$\Leftrightarrow$	$\forall x \in A : xKx$ $\forall xy(xKy \rightarrow yKx)$ $\forall xyz(xKy \wedge yKz \Rightarrow xKz)$ $\forall xyz(xPy \wedge yKz \Rightarrow xPz)$ $\forall xy(xKy \Rightarrow \neg xPy)$ $\forall xy(xKy \vee xPy \vee yPx)$

Por definición, ninguna de las clases de equivalencia de A/R es vacía, dos clases de equivalencia distintas de A/R no tienen elementos comunes (pues si los tuviesen serían la misma clase) y entre todos abarcan A entero, pues para cada elemento $x \in A$, x está en x_R y, por tanto,

$$\cup_{x \in A} \, x_R = A \, .$$

Por tanto, si R es una relación de equivalencia en A, el conjunto cociente de A respecto a R es una partición de A.

A la inversa, toda partición da lugar a una relación de equivalencia. Sea $H = \{B_1, \cdots, B_n\}$ una partición de A. Podemos definir la relación R_H entre elementos de A del siguiente modo: para cada dos elementos x y Z de A, X está en la relación R con z si y sólo si tanto x como z están en la misma subclase B_i de A. Es decir,

$$\begin{aligned} R_H \quad = \quad & \{< x, z >\in A^2 \,|\, \text{hay un}\, i \\ & \qquad (l \leq i \leq n) \,\text{tal que}\, x \in B_i \,\text{y}\, z \in B_i\} \, . \end{aligned}$$

La relación R_H es reflexiva en A (pues cada elemento de A estará en la misma subclase B_i que el mismo), simétrica (pues si x está en la misma subclase que y, y también estará en la misma que x) y transitiva. R_H es, pues, una relación de equivalencia.

En resumen, podemos decir que toda partición da lugar a una relación de equivalencia y que toda relación de equivalencia da lugar a una partición.

En química se usan diversas clasificaciones de los átomos. Consideremos la relación de equivalencia en que están dos átomos si y sólo si tienen exactamente el mismo número de protones y el mismo número de neutrones. Esta relación de equivalencia da lugar a la partición o clasificación del conjunto de los átomos en isótopos. Sin embargo, la relación de equivalenciaen que están dos átomos si y sólo si tienen el mismo número de protones da lugar a la clasificación de los átomos en elementos químicos. Y, claro está, la clasificación de los átomos en elementos químicos determina unívocamente una relación de equivalencia en la que están dos átomos si y sólo si ambos pertenecen al mismo elemento. Esta relación coincide con la anterior, pues dos átomos pertenecen al mismo elemento químico si y sólo si poseen el mismo número de protones en su núcleo.

En la fonología de una lengua determinada podemos clasificar los sonidos emitidos y entendidos por los hablantes valiéndonos de la relación de equivalencia en que están dos sonidos si y sólo si son intercambiables sin que varía el significado de la proferencia de que forman parte. Así, los sonidos de e abierta /ϵ/ y e cerrada /e/ son intercambiables en castellano —la proferencia /m$\acute{\epsilon}$sa/ significa lo mismo que /mésa/—pero no en francés —la proferencia /ep$\acute{\epsilon}$/, espeso, significa algo distinto de /epé/, espada—. Esta relación de equivalencia de lugar a la clasificación de los sonidos de una lengua en fonemas.

En geometría euclidea, la relación de paralelismo es una relación de equivalencia entre las rectas del plano. Esta relación da lugar a la partición del conjunto de las rectas en direcciones. La dirección de recta es precisamente la clase de equivalencia de esa recta respecto a la relación de paralelismo, es decir, la clase de todas las rectas paralelas a ella.

Vemos que la clasificación siempre tiene la misma estructura, aunque se establezca en ciencias tan distintas como la química, la fonología y la geometría. Cada átomo pertenece a uno y sólo un elemento. Cada sonido de una lengua pertenece a uno y sólo un fonema. Cada recta de un plano pertenece a una y sólo una dirección.

4. Clasificaciones: condiciones materiales de adecuación

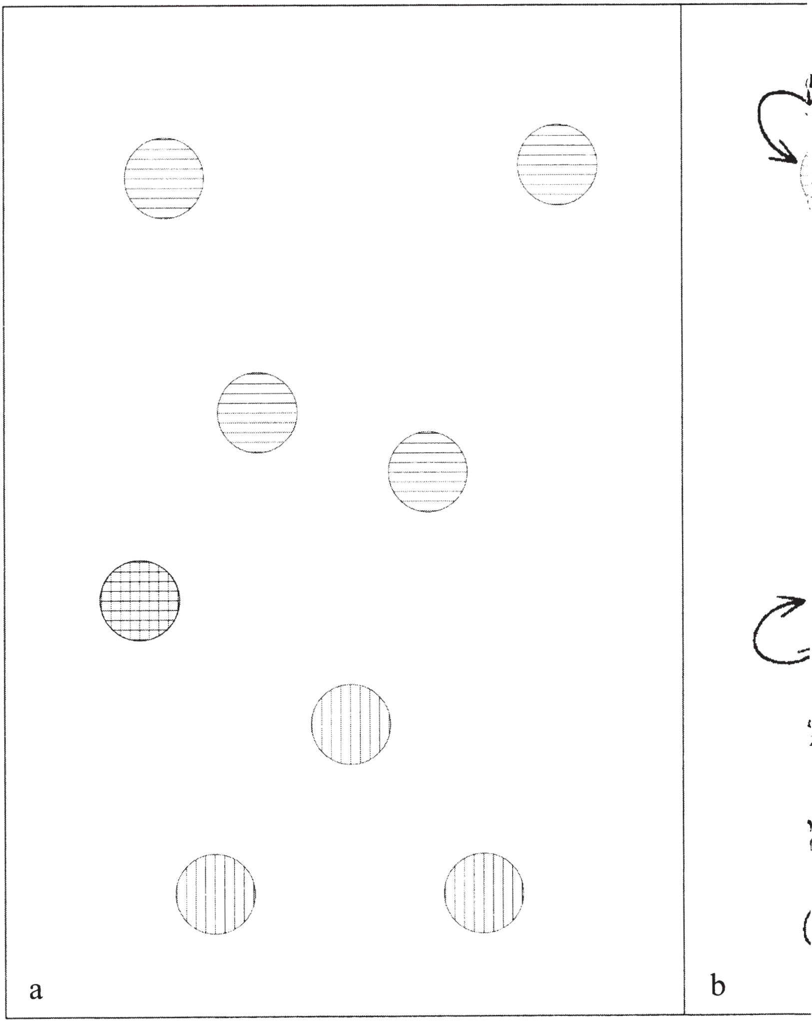
En la práctica científica no sólo se exige que una clasificación satisfaga las condiciones formales de adecuación que se acaba de comentar, sino también que satisfaga ciertas condiciones materiales de adecuación peculiares de la ciencia de que se trate. Esto mismo suele expresarse en la pretensión de que la clasificación sea natural. Pero, ¿qué significa que una clasificación sea natural? Limitándose a considerar el asunto en lo que atañe a la zoología. ¿Qué es una clasificación zoológica natural?

Se puede clasificar a los animales en tres clases: la clase de los que viven menos de 2 años, la clase de los que viven entre 2 y 80 años y la clase de los que viven más de 80 años. Esto constituye una clasificación formalmente correcta de los animales. En efecto, los tres casos se dan, cada animal se encuentra en alguno de esos casos y ningún animal está a la vez en dos de esos casos. Sin embargo, esta clasificación sería rechazada por la comunidad de los zoológos por no ser natural. ¿Por qué no es natural? ¿Y por qué es natural la clasificación de los animales in *phyla* (cordados, equinodermos, artrópodos, etc.)? La respuesta es que se pueden enunciar muchas leyes interesantes y generales acerca de los artrópodos, por ejemplo, pero no acerca de los animales que viven entre 2 y 80 años. El identificar un animal concreto como artrópodo permite hacer muchas predicciones sobre ese animal, mientras que el identificarlo como viviendo entre 2 y 80 años no permite predecir gran cosa acerca de él.

En general, suele considerarse que una clasificación es más natural que otra si los conceptos que constituyen la primera son más fecundos teóricamente, en el sentido de que sirven para formular leyes más generales o más precisas o con más poder explicativo o predictivo. Esta es la razón que ya llevó a Aristóteles a incluir los cetáceos entre los mamíferos, y no entre los peces. Así resultaba posible formular leyes generales acerca de los peces —todos los peces son ovíparos, todos los peces son de sangre fría, todos los peces respiran por agallas, etc.— que no hubieran valido de haber incluido los cetáceos entre los peces.

A la hora de concretar más lo que se entiende por clasificación natural en zoología, las opiniones discrepan. Actualmente hay tres escuelas principales de taxonomía: **1.** la evolutiva, **2.** la fenética y **3.** la cladista.

Según la taxonomía evolutiva, una clasificación natural ha de reflejar las relaciones filogenéticas entre los animales, agrupando en las mismas clases o taxones a los animales que están evolutivamente emparentados entre sí. Según la taxonomía fenética, la clasificación más natural será aquella que mejor refleje el parecido actual entre los animales, agrupando en los mismos taxones a los animales que más características comunes compartan, con independencia de su genealogía.


a
b

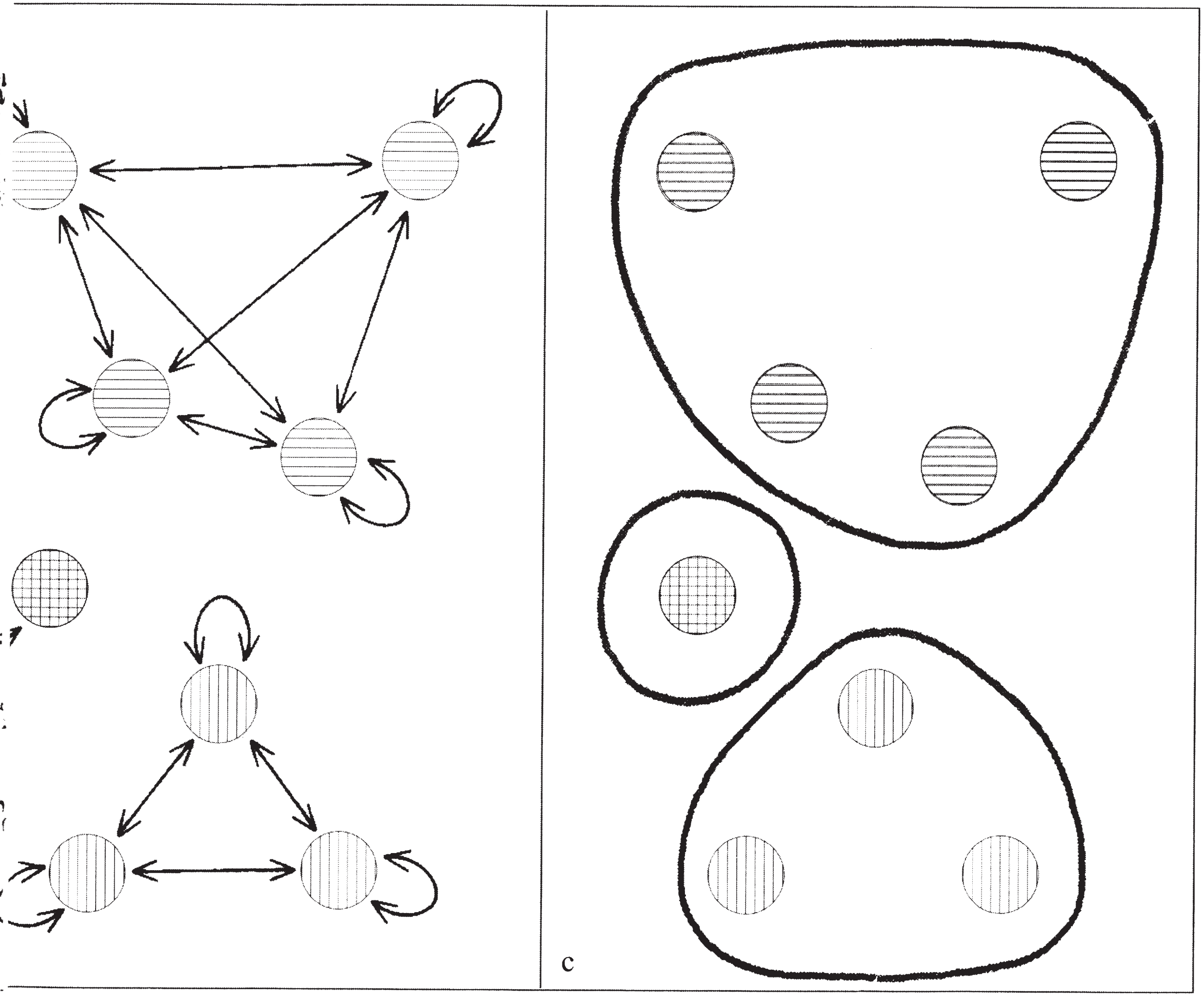


Figura 2. Partición generada por una relación de equivalencia. En (a) se ven ocho objetos con diferentes texturass. Las flechas de (b) representan la relación de equivalencia "· · · tiene igual textura que · · ·" entre objetos de (a). El espacio cociente de (a) por esa relación da lugar a una partición de los objetos de (a) en clases de equivalencia respecto a esa relación, clases de equivalencia que aparecen delimitadas en (c).

La taxonomía cladista refleja las características comunes debidas a un ancestro común (que muchas veces no existe).

La polémica entre taxónomos evolutivos y taxónomos fenéticos se extiende también a la cuestión de si el hombre inventa (como quieren los segundos) o más bien descubre (como pretenden los primeros) los diversos taxones biológicos y en especial las especies. Así escribe Ernst Mayr, uno de los más ilustres taxónomos evolutivos, que "los taxones inferiores no son colecciones arbitrarias, sino comunidades reproductivas mantenidas juntas por relaciones de cortejo y separadas de otras unidades similares no por las decisiones arbitrarias del clasificador, sino por los mecanismos aisladores codificados en el programa genético de cada organismo". Robert Sokal, uno de los iniciadores de la taxonomía fenética, propone por el contrario "basar las clasificaciones enteramente en el parecido, definiendo como clasificaciones naturales aquellas que determinan taxones cuyos miembros son en algún sentido más similares entre sí que con los miembros de otros taxones. De este concepto de naturalidad se sigue que la clasificación natural será también la más predictiva".

No es este todavía el momento y el lugar para estudiar esta interesante polémica. Sólo interesa señalar cómo, junto a las condiciones formales de adecuación de una clasificación, estructurales y comunes a todas las ciencias, en cada ciencia particular se suelen exigir condiciones materiales de adecuación o naturalidad, aunque, como muestra el caso de la biología, no siempre la comunidad científica está en completo acuerdo sobre en qué consista esa naturalidad.

5. Jerarquías de clasificaciones

Dadas dos clasifiaciones del mismo dominio de objetos, a veces es posible compararlas en cuanto a finura y, a veces, no. Así, por ejemplo, la clasificación de los rimates en prosimios y simios no es comparable con la clasificación de los mismos en machos y hembras. La clasificación de los libros por su fecha de publicación no es comparable con su clasificación por el lugar de su impresión. Sin embargo, la clasificación de los mamíferos en familias sí es comparable con su clasificación en órdenes. La primera es más fina que la segunda. Y la clasificación del territorio nacional por municipios es más fina que su clasificación en provincias.

Sean $A = \{A_1, \cdots, A_n\}$ y $B = \{B_1, \cdots, B_m\}$ clasificaciones o particiones del mismo dominio D. Entonces podemos decir que A es tanto o más fina que B si y sólo si para cada $A_i \in A$ y cada $B_j \in B$ ocurre que $A_i \subset B_j$ o $A_i \cap B_j = \emptyset$.

Suele ser característico de las ciencias en que los conceptos clasificatorios desempeñan un papel importante el que las clasificaciones no aparezcan solas, sino que se usen diversas clasificaciones de finura decreciente del mismo dominio, engarzadas entre sí y formando jerarquías, donde por jerarquía entendemos una sucesión de clasificaciones comparables entre sí y de finura decreciente.

Más precisamente, decimos que H es una jerarquía taxonómica sobre D si y sólo si hay $B_1, \cdots, B_n$ tales que:

1. $H = \{B_1, \cdots, B_n\}$;

2. para cada i $(1 \leq i \leq n)$: B_i es una partición de D;

3. para cada i $(1 \leq i \leq n)$: B_i es tanto o más fina que B_{i+1}.

Aquí D es el dominio de básico de individuos, y cada B_i es una categoría de nivel i. En general, una jerarquía sobre D es una clase de categorías sobre D. Una categoría sobre D es una partición de D, es decir, una clase de taxones de D. Y cada taxón de D es una clase de elementos de D.

La jerarquía taxonómica más conocida es la jerarquía procedente de Linné para la clasificación de los seres vivos. La jerarquía linneana L abarca 7 categorías, cada una de las cuales es una partición del conjunto de los seres vivos: L={especie, género, familia orden, clase, phylum, reino}.

Cada ser vivo es miembro de un taxón de cada una de esas siete categorías. Así, el perro Lassie es a la vez miembro del taxón *Canis familiaris* (de la categoría especie), del taxón *Canidae* (de la categoría familia), del taxón *Carnivorae* (de la categoría orden), del taxón *Mamalia* (de la categoría clase), del taxón *Chordata* (de la categoría phylum) y del taxón *Animalia* (de la categoría reino).

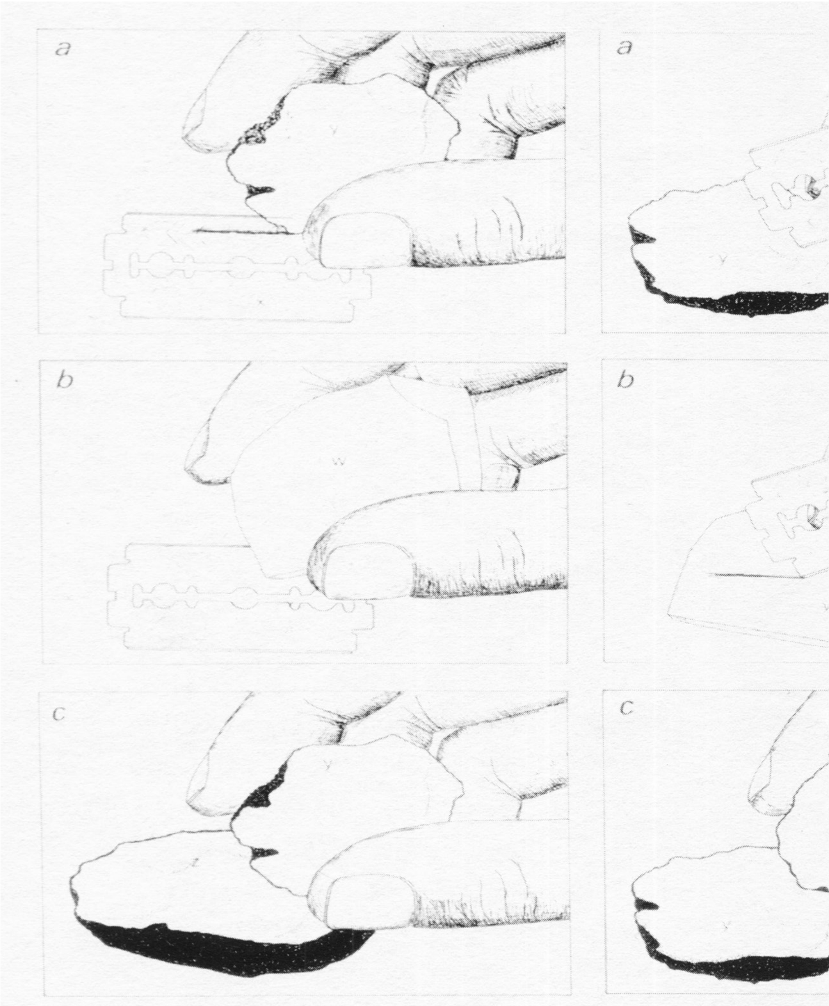
Aunque las jerarquías taxonómicas más conocidas son las de la biología, también en otras ciencias nos encontramos con diversas clasificaciones de finura decreciente que forman jerarquías. Pensemos en las clasificaciones de los átomos en química. Una clasificación muy fina es la partición de los átomos en isótopos, otra menos fina es su partición en elementos., otra aun menos fina es su partición en grupos o familias. Por tanto, H={isótopo, elemento, grupo} constituye una jerarquía sobre el dominio de todos los átomos. Cada átomo es miembro de un taxón de cada una de esas categorías. Así, por ejemplo, un átomo determinado puede ser a la vez miembro del taxón *potasio–39* (de la categoría isótopo), del taxón *potasio* (de la categoría elemento) y del taxón *alcalino* (de la categoría grupo).

6. Conceptos comparativos

Así como los conceptos clasificatorios corresponden a los sustantivos y adjetivos del lenguaje ordinario, así también los conceptos comparativos encuentran su punto de partida en un rasgo de la lengua cotidiana: el llamado por los gramáticos *grado comparativo* de los adjetivos. El lenguaje ordinario no sólo permite "clasificar" a los congéneres en altos y bajos; también permite precisar que un individuo determinado, aunque bajo, es más alto que otro. Expresiones como "más alto", "más viejo", "mayor", "más ligero", etc., corresponden a conceptos comparativos.

Introducir un concepto comparativo para una característica que los individuos de un dominio poseen en mayor o menor grado consiste en definir dos relaciones de coincidencia y precedencia respecto a esa característica, es decir, indicar cuándo dos objetos de ese dominio coinciden respecto a esa característica y cuándo uno precede al otro respecto a ella. Un concepto comparativo sirve así para establecer comparaciones en más y menos. Si se identifican los conceptos cualitativos con los clasificatorios y los cuantitativos con los métricos, resultaría que en la ciencia se usan otros tipos de conceptos además de los cualitativos y cuantitativos: los conceptos comparativos no sólo permiten diferenciar más finamente que los clasificatorios, sino que además representan un primer paso para la posterior introducción de conceptos métricos.

Si se denotan por $\sim$ y $\prec$ las relaciones de coincidencia y precedencia respecto a una característica determinada que los objetos de un dominio A poseen en mayor o menor grado. El concepto comparativo $\langle\sim,\prec\rangle$ ha de cumplir ciertas condiciones formales de adecuación para ser científicamente aceptable. En primer lugar, $\sim$ ha de ser una relación de equivalencia en A (es decir, todo objeto ha de coincidir consigo mismo respecto a la característica de que se trate; si un objeto coincide con otro, entonces también el otro con el uno; y si uno coincide con otro y ese otro con un tercero, entonces el primero ha de coincidir con el tercero). $\prec$ ha de ser transitiva en A (es decir, si un objeto es más —respecto a la característica en cuestión— que otro y ese otro más que un tercero, entonces el primero es más que el tercero). Además $\prec$ ha de ser $\sim$–irreflexiva (es decir, el que un objeto coincida con otro respecto a la característica estudiada excluye que sea mayor o menor que él respecto a esa misma característica).


a
a
b
b
c
c

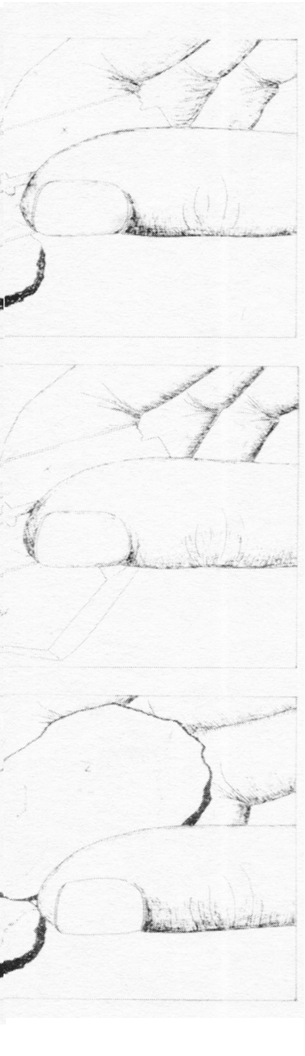


Figura 3. El concepto comparativo de dureza puede ser establecido mediante la prueba del rayado. En (a) se ve que y (un trozo de silex) raya a x (una hoja de afeitar de acero), pero no a la inversa: x es más blando que y. En (b) es x el que raya a w (un trozo de calcita), sin ser rayado por él: w es más blando que x. En (c) aparecen dos trozos distintos de silex y y z, ninguno de los cuales raya al otro ni es rayado por el otro: y coincide con z en cuanto a dureza.

Finalmente, todos los miembros de A han de ser comparables respecto a $\langle\sim,\prec\rangle$ (es decir, dados dos objetos cualesquiera, o bien coinciden entre sí, o bien uno de ellos es más o menos que el otro respecto a la característica de que se trate).

Se puede resumir las condiciones formales de adecuación de un concepto comparativo $\langle\sim,\prec\rangle$ en un dominio A exigiendo que $\langle A,\sim,\prec\rangle$ constituya un sistema comparativo. $\langle A,\sim,\prec\rangle$ es un *sistema comparativo* si y sólo si para cualesquiera elementos x, y, z de A ocurre que:

1. $x \sim x$;

2. si $x \sim y$, entonces $y \sim x$;

3. si $x \sim y$ y $y \sim z$, entonces $x \sim z$;

4. si $x \prec y$ y $y \prec z$, entonces $x \prec z$;

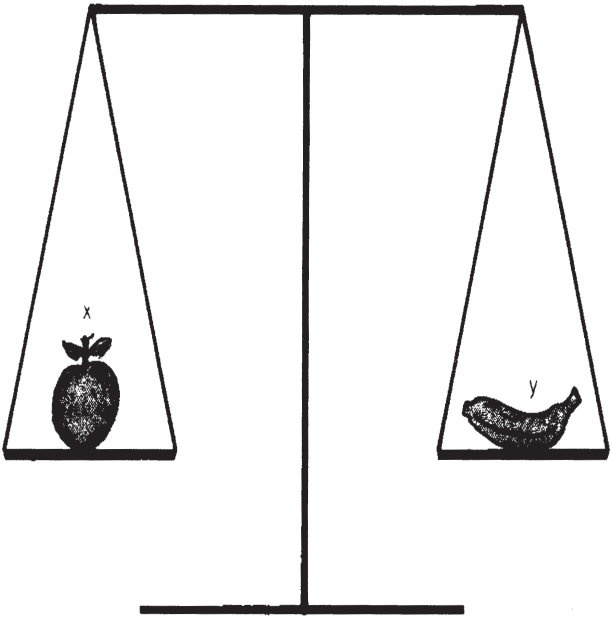
5. $x \sim z$ o $x \prec z$ o $z \prec x$.

Un ejemplo típico de concepto comparativo es el concepto de dureza utilizado en mineralogía. Este concepto comparativo de dureza sobre el dominio de los minerales se basa en la prueba del rayado. Dados dos minerales, x y z, se dice que x es más duro que z si y sólo si x raya a z, pero z no raya a x. Y se dice que x coincide respecto a dureza con z si ocurre que ni x raya a z ni z raya a x (o x y z son el mismo mineral). Este concepto comparativo de dureza cumple las seis condiciones formales de adecuación formuladas en la definición de sistema comparativo. Las condiciones **1** y **5** se cumplen por definición. El que las otras condiciones también se cumplan constituye una hipótesis empírica (por ahora bien confirmada) de la mineralogía.

Otro ejemplo de concepto comparativo (uno que sirve de primer paso para la posterior intro-

Figura 4. El concepto comparativo de masa puede ser establecido mediante la prueba de la balanza. En (a) se colocan dos objetos x (una manzana) y y (un plátano) en los platillos y la balanza permanece equilibrada: x coincide con y en cuanto a masa. En (b) se colocan z (un melón) y y en los platillos y la balanza se inclina hacia z: y precede a z en cuanto a masa, es decir, y es más ligero que z. En (c) z coincide en cuanto a masa con la combinación de y y x.

a

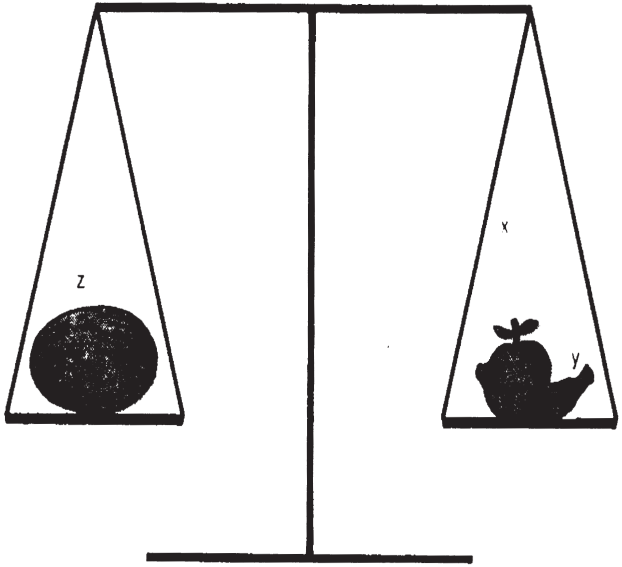


x K y

b

yPz

c



$zK(y \perp x)$

ducción de un concepto métrico) es el concepto (premétrico) de *masa*. Este concepto comparativo de masa tiene como dominio el ámbito de los cuerpos manejables (es decir, ni demasiado pequeños ni demasiado grandes, sino manipulables con la mano) y se basa en la prueba de la balanza. Dados dos objetos x y z, se dice que x coincide respecto a masa con z, si, colocados ambos en sendos platillos de una balanza, ésta permanece equilibrada (o bien si x y z son el mismo cuerpo). Y se dice que x tiene más masa que z, si colocados ambos en sendos platillos de la balanza, ésta se desequilibra a favor del platillo donde se ha colocado x. Este concepto comparativo de masa cumple las seis condiciones formales de adecuación. Y también en este caso ocurre que **1** y **5** se cumplen por definición, mientras que, al suponer que se cumplen las demás, se está haciendo diversas hipótesis (por lo demás triviales claro) tanto sobre el comportamiento de la naturaleza como sobre el buen estado de la balanza.

En paleontología se emplea un concepto comparativo de *antigüedad* cuando ocurre que resulta difícil datar absolutamente los fósiles hallados en

un yacimiento estratificado. El dominio de ese concepto comparativo de antigüedad está constituido por los fósiles que se encuentran en los diversos estratos geológicos del yacimiento. Se dice que un fósil x coincide respecto a antigüedad con un fósil z si y sólo si x y z se encuentran en el mismo estrato. Y se dice que x es más antiguo que z si x se encuentra en un estrato inferior a aquel en el que se encuentra z. También este concepto cumple las seis condiciones formales de adecuación, y como en los otros casos, también aquí **1** y **5** se cumplen por definición, y que se cumple el resto es una hipótesis basada en las ideas acerca de la formación de las rocas sedimentarias y la fosilización de los restos de seres vivos.

Con frecuencia, cuando se quiere precisar más las nociones acerca de un ámbito determinado, resulta más fácil introducir un concepto comparativo que otro métrico. Así se podría tratar de precisar el concepto de fortaleza (muscular) en un dominio de seres humanos mediante la prueba de echarse un pulso (sería más fuerte que otro el que, echándose un pulso, derribase al otro; coincidirían los que, echándose un pulso, ni derribasen ni fuesen derribados). Pero estaría por ver si este concepto cumple más o menos las condiciones formales de adecuación, y si sirve para algo.

El concepto de metal es en principio clasificatorio. Los elementos químicos se clasifican en metales y no–metales. Pero al definir lo que se entiende por metal (elemento que posee en la capa más externa de la corteza un número pequeño de electrones, de los que puede desprenderse fácilmente, dando lugar a iones positivos; presenta gran conductividad eléctrica y calórica, etc.), es evidente que unos elementos poseen esas características en un grado mayor que otros. Algunos elementos (como los alcalinos) son "muy metales"; otros (como los halógenos) no son nada metales; los demás ocupan grados intermedios. El mismo estaño se comporta en una de sus formas como metal, y, en otra, como no–metal. Por ello, se podría tratar de reformular la noción de *metalidad* como concepto comparativo, explicitando criterios que sirvan para decidir, de dos elementos cualesquiera, si coinciden respecto a metalidad o uno es más metálico que el otro. Y se ha visto cómo, además del concepto métrico de masa, hay un concepto (previo) comparativo de masa. El punto a retener es que el ser clasificatorio, comparativo o métrico, como el ser cualitativo o cuantitativo, no son propiedades de las cosas, sino de los conceptos que se empleen para pensar en las cosas y hablar de las cosas.

Se debe señalar, finalmente, que si bien no siempre es fácil (ni posible) pasar de un sistema clasificatorio a otro comparativo, la inversa (es decir, pasar de un concepto comparativo a una clasificación) siempre es posible, fácil e incluso trivial. En efecto, sea $\langle \sim, \prec \rangle$ un concepto comparativo sobre un dominio D. La relación de coincidencia $\sim$ (que, como se sabe, es una relación de equivalencia) determina entonces en forma única una partición o clasificación de D, a saber, $D/\sim$, es decir, el conjunto cociente de D respecto a $\sim$. Esta partición, además de soler ser de gran finura, tiene la ventaja de estar (irreflexivamente) ordenada por la relación $\prec$, con lo que se obtiene una mayor información sobre las interrelaciones mutuas entre las diversas clases que constituyen esa clasificación.

colección

CIENCIA AL VIENTO