Estructura y Uso de los Conceptos Científicos

Luis A. Pérez Miranda*

Introducción.

Este artículo responde a un doble objetivo: por un lado, estudiar algunas de las propiedades estructurales más importantes de los conceptos científicos; por otro, destacar la importancia de los términos científicos básicos utilizados por nuestros sistemas conceptuales cuando tratamos de interpretar y estructurar el mundo. Según algunos de los defensores de la *concepción estructural* de las teorías científicas[1], la información que finalmente percibimos o captamos de la realidad no sólo depende de ésta sino que es la resultante de dos componentes básicos: nuestro sistema neurosensorial y nuestro sistema conceptual. El progreso científico no consistiría tanto en aumentar el número de verdades que conocemos, sino más bien en la manipulación, extensión, o cambio de un sistema conceptual por otro más adecuado que nos ayude a una mejor comprensión del mundo. Desde este punto de vista, seríamos nosotros los que proyectamos e imponemos sobre el mundo nuestros sistemas conceptuales compuestos por conceptos y teorías científicas.

* Dpto. de Lógica y Filosofía de la Ciencia (UPV-EHU)
e-mail: luisangel.perez@ehu.es

[1] En la introducción del libro *"The estructure of scientific theories*", Suppe (1974) convierte el estudio de la estructura o naturaleza de las teorías científicas, y por extensión el de los conceptos científicos como sus componentes más básicos, en el objeto de estudio fundamental en filosofía de la ciencia. Llega a afirmar que de no ser por las teorías no habría ningún problema remarcable como el de los términos teóricos, la significatividad cognoscitiva, etc. "Porque las teorías son el vehículo del conocimiento científico y de un modo u otro resultan implicadas en la mayoría de los aspectos de la empresa científica. (…) Los modelos se emplean científicamente o como una especie de teoría o como una ayuda para el desarrollo de teorías. En ausencia de teorías que probar o que aplicar, el diseño experimental no tiene sentido. Leyes y contrafácticos aparecen científicamente o como teorías o como componentes de teorías. No es demasiado exagerado afirmar que una filosofía de la ciencia es poco más que un análisis de las teorías y de su papel en la empresa científica."

En la actividad científica cabe distinguir dos aspectos, el descriptivo (escrutinio y descubrimiento de hechos), y el teórico (construcción de hipótesis y teorías). La construcción teórica tiene como objetivo predecir la ocurrencia de acontecimientos o resultados experimentales y explicar hechos que ya han acontecido. En la medida que el descubrimiento y la descripción de hechos no pueden aislarse conceptualmente de las correspondientes teorías científicas, es innegable que existe una estrecha correlación entre la descripción de los acontecimientos y la formación de conceptos científicos.

Para poder comprender los datos que recibimos de la experiencia parece ineludible que éstos pasen a través del filtro de nuestros sistemas conceptuales. Los *conceptos científicos* son las unidades más básicas, e imprescindibles, sobre las que descansa y se articula todo el conocimiento científico. Como veremos, una de las propiedades fundamentales de los conceptos científicos es la de su estructura formal o matemática. En la práctica la variedad de los conceptos científicos se reduce sólo a tres: conceptos clasificatorios, conceptos comparativos y conceptos métricos. Hay que tener en cuenta que el ser clasificatorio, comparativo o métrico son propiedades atribuibles a los conceptos científicos para poder *interpretar* el mundo, pero en ningún caso se trata de propiedades atribuibles a las cosas mismas. Propiedades tales como la masa de un cuerpo, la dureza de un mineral, o la antigüedad de un fósil, no son intrínsecamente cuantitativas o cualitativas, sino que son dependientes del concepto científico correspondiente utilizado para hablar de ellas.

Los Conceptos Clasificatorios.

Mediante un *concepto clasificatorio* hacemos referencia a un grupo de objetos o sucesos que comparten alguna propiedad. Ejemplos de este tipo de concepto los encontramos en los sustantivos y adjetivos del lenguaje natural. Estos van desde los más habituales (azul, árbol, pájaro, caliente,…) a otros algo más precisos (azul-marino, haya, gavilán,...). No obstante, el uso de este tipo de conceptos clasificatorios correspondientes al lenguaje natural tiene limitaciones claras para muchas de las necesidades y fines científicos. Una de las tareas del científico consiste precisamente en la búsqueda de nuevos conceptos clasificatorios ‘artificiales’. Estos últimos no aparecen de manera aislada, sino que normalmente lo hacen formando parte de clasificaciones insertas en jerarquías taxonómicas.

Para que las clasificaciones sean consideradas adecuadas por la comunidad científica deben cumplir determinadas condiciones tanto formales como materiales. Las *condiciones formales* se aplican a todos los conceptos científicos, con independencia de la ciencia específica de que se trate; el cumplimiento de las *condiciones materiales* también es exigible a cualquier concepto científico, pero éstas, a diferencia de lo que sucede con las condiciones formales, son una peculiaridad de cada ciencia en particular.

Al hablar de clasificaciones que cumplen con las *condiciones formales* de adecuación nos referimos normalmente a un dominio de objetos que está bien acotado, donde para cada concepto clasificatorio de esa clasificación existe al menos un objeto del dominio, y ningún objeto del mismo cae bajo dos conceptos clasificatorios a un mismo tiempo (cf. Stegmüler (1970)). Dicho en otras palabras, clasificar un dominio de objetos no es más que agruparlos en conjuntos disjuntos, que no sean vacíos, y de tal modo que en todos esos conjuntos queden recogidos todos los objetos del dominio considerado.

Para que se cumplan las llamadas condiciones formales de adecuación la clasificación debe constituir una *partición* del dominio, en el sentido *conjuntista* del término[2]. Un ejemplo, la clasificación de los habitantes de la provincia de Araba en municipios constituye una partición del territorio histórico. Una clasificación así definida da siempre lugar a una relación de equivalencia correspondiente a esa partición; y viceversa, establecer una *relación de equivalencia*[3] entre los objetos de un dominio es a su vez una manera de clasificarlo. Un ejemplo jocoso y divertido de clasificación inadecuada desde un punto de vista formal es la que aparece en la imaginaria "enciclopedia china" que Borges (1974, 708) presenta en su relato "El idioma analítico de John Wilkins", 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 clasificación incumple a todas luces las condiciones formales de adecuación: El dominio no está bien acotado, hay conceptos que hacen referencia a individuos que no existen, otros que no se sabe a qué se refieren, hay individuos que son miembros de más de una categoría, otros que no caen bajo ninguna, etc.

Aunque podemos construir con facilidad muchas clasificaciones formalmente correctas de un dominio, pocas, si alguna, serán consideradas como clasificaciones naturales por los expertos de la ciencia en cuestión. Para que una clasificación sea considerada *natural*, además de las condiciones formales, ésta debe cumplir con las condiciones materiales dependientes de cada ciencia. En fonología, un ejemplo conocido lo constituye la clasificación de los sonidos de una lengua en *fonemas*. La relación de equivalencia que produce dicha clasificación es la siguiente: Dos sonidos están en la misma clase de equivalencia, o si se prefiere, son alófonos de

---

[2] Sea *A* un dominio cualquiera de objetos. Una colección de conjuntos constituye una *partición* de *A* si (y sólo si) (1) cada uno de esos conjuntos es un conjunto no vacío de *A*, (2) ningún elemento de *A* es común a dos de esos conjuntos, y (3) cada elemento de *A* es miembro de alguno de los conjuntos de la colección.

[3] Una relación R es una *relación de equivalencia* si (y sólo si) (1) todo elemento de *A* está relacionado consigo mismo, (2) si *x* está relacionado con *y* entonces también y está relacionado con *x*, y (3) si *x* está relacionado con *y* e *y* a su vez está relacionado con *z*, entonces *x* está relacionado con *z*.

un mismo fonema, si (y sólo si) aquéllos no contrastan entre sí[4]. Esto es, los sonidos emitidos y captados por los hablantes que son fonéticamente semejantes, y que no contrastan entre sí, se agrupan en la misma clase de equivalencia fonológica denominada *fonema* (cf. O'Grady *et al.* (1997)). De este modo podemos clasificar todos los sonidos de una lengua en fonemas mediante la relación de equivalencia señalada.

En ocasiones las clasificaciones pueden compararse entre sí según su grado de naturalidad. En general, suele considerarse que una clasificación es más natural que otra si los conceptos que configuran la primera son más productivos desde el punto de vista científico. Esto es, los conceptos de la clasificación considerada más natural sirven para formular leyes más generales o precisas y con mayor poder explicativo o predictivo. No obstante, las discrepancias entre científicos sobre qué hay que entender por clasificación natural son muy comunes en muchas disciplinas. En zoología, por ejemplo, son conocidas las discrepancias aparentemente insalvables entre dos escuelas taxonómicas: la evolutiva y la fenética. Para la primera, una clasificación natural debe estar basada en el criterio universal de la capacidad reproductiva de modo que en los taxones queden bien reflejadas las relaciones filogenéticas entre los organismos (cf. Mayr, 1969). Para la segunda, por el contrario, el criterio básico de clasificación de los organismos debe estar basado en sus diversas características morfológicas esenciales, es decir, en el parecido, de modo que la clasificación natural produzca taxones cuyos miembros sean más parecidos entre sí que en relación a los miembros de otros taxones (cf. Sneath y Sokal, 1973).

Un paso importante en relación a la mejora de las clasificaciones de un dominio lo constituyen las denominadas *jerarquías taxonómicas*[5]. En las ciencias donde los conceptos clasificatorios juegan un papel determinante las clasificaciones no suelen aparecer de manera aislada sino como parte de alguna jerarquía taxonómica. Para poder establecer una jerarquía de este tipo es necesario que las clasificaciones de un determinado dominio de objetos sean comparables entre sí en cuanto a finura, cosa que con frecuencia no es posible.

Sean $A=\{A_1, A_2, A_3,...\}$ y $B=\{B_1, B_2, B_3,\ldots\}$ dos particiones de un mismo dominio de objetos Δ. Decimos que la clasificación A es *tanto o más fina* que la clasificación B si (y sólo si) para cada $A_i \in A$ y cada $B_j \in B$ ocurre que $B_j \supset A_i$ o bien $A_i \cap B_j = \varnothing$. Por ejemplo, la clasificación de los habitantes de la Comunidad Autónoma Vasca por municipios es más fina que por provincias.

---

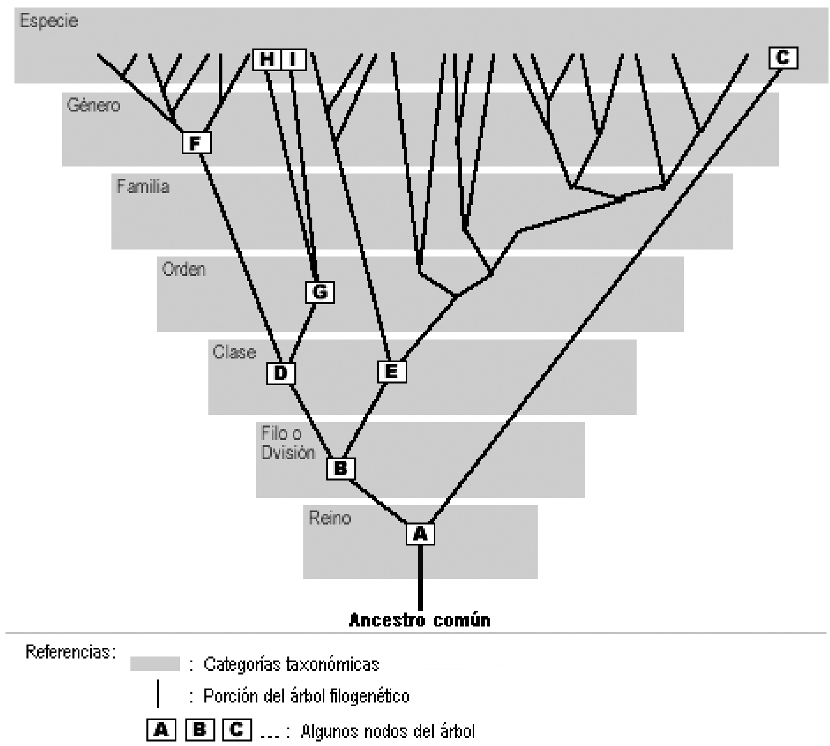
[4] Todos los hablantes conocen aquellos *segmentos* de su lengua que son 'contrastivos'. Se dice que los segmentos de una expresión son 'contrastivos' cuando su sola presencia es suficiente para distinguir entre expresiones bien formadas que difieren en cuanto al significado. Así, los segmentos [z] y [s] contrastan en las palabras *zeta* y s*eta*, del mismo modo que lo hacen las vocales [a] y [o] en *tanto* y *tonto*. Un test básico para distinguir entre sonidos es el llamado test del par mínimo. Un *par mínimo* está compuesto por dos expresiones con diferentes significados que tan sólo se diferencian en un segmento que se encuentra en la misma posición en ambas expresiones.

[5] H es una jerarquía taxonómica sobre un dominio *A* si (y sólo si) hay $B_1, B_2, B_3,\ldots, B_n$ tales que: (1) $H=\{B_1, B_2, B_3,\ldots, B_n\}$; (2) Para cada i comprendido entre 1 y n: B_i es una partición de *A*; Para cada i comprendido entre 1 y n: B_i es tanto o más fina que B_{i+1}.

La clasificación de los libros de una biblioteca por códigos UNESCO resulta por el contrario incomparable en cuanto a finura con una clasificación por año de publicación o por autor.

Una jerarquía taxonómica puede entenderse como una sucesión de clasificaciones comparables entre sí y de finura decreciente. Recuérdese por ejemplo la sucesión de clasificaciones de los organismos de acuerdo con las siete categorías de la jerarquía taxonómica linneana en biología:

L= {*Especie, Género, Familia, Orden, Clase, Filo o División, Reino*}. (Véase Figura 1).



Si tomáramos como ejemplo al 'ser humano' la clasificación linneana actual sería como sigue: Este sería miembro del taxón *Animalia* de la categoría taxonómica *Reino*; del taxón *Chordata* de la categoría *Filo* o *División*; del taxón *Mammalia* de la categoría *Clase*; del taxón *Primates* de la categoría *Orden*; del taxón *Hominidae* de la categoría *Familia*; del taxón *Homo* de la categoría *Género*; y del taxón *Homo Sapiens*, de la categoría *Especie*.

En ocasiones es posible obtener nuevas y más finas particiones de un dominio mediante la *superposición de dos particiones* previas. "En fonología, por ejemplo, la partición de las consonantes por su punto de articulación (en labiales, labiodentales, interdentales, alveolares, etc.) se superpone con frecuencia con la partición de las consonantes por su modo de articulación (en oclusivas, fricativas, africadas, vibrantes, etc.) para así producir una nueva partición o clasificación de las consonantes, que es más fina y más informativa que cualquiera de la otras dos, tomadas por separado" (Mosterín, 1984, 55). La superposición de dos particiones del mismo dominio está compuesta por la clase de todas las intersecciones no vacías de taxones de la primera partición con taxones de la segunda. (Véase Tabla 1).

Tabla 1
Consonantes inglesas: lugares y puntos de articulación

		Places of articulation						
Manners of articulation		*Labial*	*Labio-dental*	*Inter-dental*	*Alveolar*	*Palato-alveolar*	*Velar*	*Glottal*
Stop	voiceless	p			t		k	ʔ
	voiced	b			d		g	
Nasal	voiced	m			n		ŋ	
Fricative	voiceless		f	θ	s	ʃ		h
	voiced		v	ð	z	ʒ		
Affricate	voiceless					tʃ		
	voiced					dʒ		
Liquid	voiced lateral				l			
	voiced post-alveolar approximant/ retroflex				r			
Glide	voiced					j	w	
	(voiceless)						(ʍ)	

Los Conceptos Comparativos.

Además de la posibilidad de clasificar dominios de objetos, el lenguaje natural nos permite también, mediante el grado comparativo de los adjetivos, establecer comparaciones entre los objetos de un dominio: más rápido, más alto, más inteligente, etc. "Los conceptos comparativos fueron muy importantes en los estados iniciales de la física; por ejemplo, los conceptos de peso y calor se usaron sistemáticamente como conceptos comparativos antes de que se pudieran manejar apropiadamente como conceptos cuantitativos en sentido genuino. Asimismo, los conceptos comparativos son todavía muy útiles en otras áreas de la ciencia: en psicología (por ejemplo, los conceptos de inteligencia, introversión, neuroticidad), en biología (el concepto de adaptación y otras nociones de la teoría de la evolución), en geología (el concepto de dureza, por ejemplo), en química clásica (el concepto de acidez)" (Díez y Moulines, 1997, 108).

La introducción de un *concepto comparativo* para una propiedad que los individuos de un dominio poseen en un grado determinado exige definir una relación de coincidencia y otra de precedencia respecto a la característica en cuestión. Los conceptos comparativos, también llamados topológicos, además de permitirnos diferenciaciones más finas que los clasificatorios, constituyen una categoría intermedia para la posterior introducción de los *conceptos métricos* (cf. Mosterín, 1984). Los conceptos comparativos no sólo permiten clasificar un dominio determinado sino que además producen una ordenación del mismo. En este sentido, su potencial es mayor que el de los conceptos clasificatorios. Cada concepto comparativo lleva siempre asociado un conjunto de conceptos clasificatorios de tal modo que el primero implica una ordenación de las clases o taxones en los que se encuentran los elementos del dominio: "Los conceptos comparativos son aquellos por medio de los cuales pueden ordenarse conjuntos; o también, aquellos conceptos por medio de los cuales pueden jerarquizarse los elementos de un conjunto" (Bunge, 2004, 629).

Los conceptos comparativos deben satisfacer las condiciones formales de adecuación que se comentan a continuación:

Sean K y P relaciones de coincidencia y preferencia respectivamente respecto a una propiedad que los objetos de un dominio *A* poseen en mayor o menor grado. Por una parte, K debe constituir una relación de equivalencia sobre el dominio *A*: todo objeto debe coincidir consigo mismo en relación a la propiedad considerada: antigüedad, dureza, etc.; si un objeto coincide con otro en relación a esa propiedad el otro también coincidirá con el uno; y si un objeto coincide con otro y este otro a su vez con un tercero, el primero y el tercero habrán de coincidir. Por otra parte, P debe constituir una relación transitiva e irreflexiva en relación a K. Esto es, si un objeto del dominio es más que otro en relación a la propiedad considerada, y el otro más que un tercero, entonces el uno será más que el tercero. Y si dos objetos coinciden en cuanto a una propiedad, esto es, están en la misma clase de equivalencia, entonces queda excluida la posibilidad de que uno sea más o menos que el otro respecto a dicha propiedad. Finalmente, todos los objetos del dominio deben ser comparables en el sentido de que o bien coinciden entre sí o bien uno es más o menos que el otro respecto a la característica en cuestión. Por ejemplo, la relación de dureza es conexa en el conjunto de los materiales, pero no en el conjunto de las ondas o de los deseos.

Más formalmente decimos que $<A, \mathrm{K}, \mathrm{P}>$ es un *sistema comparativo* si (y sólo si) para cualesquiera elementos del dominio *A* ocurre que:

(1) $\forall x \in A \ \ x\mathrm{K}x$ Reflexividad;

(2) $\forall x, y \in A \ \ x\mathrm{K}y \rightarrow y\mathrm{K}x$ Simetría;

(3) $\forall x, y, z \in A \ \ x\mathrm{K}y \wedge y\mathrm{K}z \rightarrow x\mathrm{K}z$ Transitividad;

(4) $\forall x, y, z \in A \ \ x\mathrm{P}y \wedge y\mathrm{P}z \rightarrow x\mathrm{P}z$ Transitividad;

(5) $\forall x, y \in A \ \ x\mathrm{K}y \rightarrow \neg x\mathrm{P}y$ K-irreflexividad;

(6) $\forall x, y \in A \ \ x\mathrm{K}y \vee x\mathrm{P}y \vee y\mathrm{P}x$ Comparabilidad

Ej.: El *concepto comparativo de antigüedad* a través de los fósiles que se encuentran en los distintos estratos geológicos de un yacimiento. Este concepto se utiliza en paleontología cuando los fósiles resultan difíciles de datar de manera absoluta. Por un lado, decimos que dos fósiles *x* e *y* coinciden en cuanto a antigüedad si se encuentran en el mismo estrato. Por otro, decimos que un fósil *x* es más antiguo que un fósil *y* si el primero se encuentra en un estrato inferior a aquél en el que se encuentra el segundo. Las condiciones (1), (2) y (5) se cumplen por definición, mientras que se cumple el resto es una hipótesis que descansa sobre nuestros conocimientos en geología y paleontología acerca de la formación de las rocas sedimentarias y el proceso de fosilización de los organismos. Ahora bien, en la medida que pueden hallarse fósiles de igual antigüedad, el concepto comparativo de antigüedad no produce un *orden lineal* estricto entre los fósiles tomados de manera individual, sino que ordena los conjuntos de fósiles entre sí. Por tanto, el concepto de antigüedad da lugar a un *orden parcial* del dominio.

Aunque no siempre podemos pasar de un sistema clasificatorio a uno comparativo, la inversa siempre es posible: Por definición, la relación de coincidencia K sobre el dominio ha de ser una relación de equivalencia, lo que da lugar a una partición del mismo. Lo más interesante en este punto es que esta partición al estar ordenada por relación a P nos permite obtener una mayor información sobre las interrelaciones mutuas entre las diversas clases que constituyen la clasificación.

Es interesante ver en qué consiste el proceso de cuantificación de una propiedad compartida en mayor o menor grado por los objetos de un dominio. Partiendo de un *concepto cualitativo* como 'duro' (o cualquier otro que nos parezca pertinente) establecemos una primera distinción meramente convencional entre materiales duros y blandos. Una vez hecha la clasificación podríamos asignar convencionalmente un número, por ejemplo el '1', a los considerados materiales duros, y el '0' a los que queden fuera de ese conjunto. Si quisiéramos una clasificación más fina de los materiales desde el punto de vista de su dureza, podríamos hacerlo mediante la construcción del concepto comparativo 'más duro' a partir del concepto de clase 'duro'. El siguiente paso consistiría en asignar por convención números a las distintas clases o categorías de dureza: por ejemplo asignando el número '1' al menos duro de los materiales conocidos, '10' al más duro de ellos, y reservando los números intermedios para el resto. Ninguno de estos números son significativos; lo único que indican es la posición relativa que ocupa cada clase dentro de la ordenación. Por el hecho de que a un material se le atribuya la dureza 4 no se puede inferir que éste sea cuatro veces más duro que un material al que se le haya atribuido dureza 1 (cf. Bunge, 2004). Por consiguiente podemos decir que la asignación de números a los conceptos comparativos es meramente nominal o convencional a menos que implícitamente exista ya un concepto cuantitativo subyacente que se pueda aplicar. Para que los números sean significativos en las comparaciones entre objetos necesitamos trabajar con conceptos cuantitativos o métricos. Por ejemplo, a partir del concepto comparativo 'más alto' podríamos construir el concepto cuantitativo de 'altura'. Una vez obtenido este último, podríamos usarlo para cuantificar el concepto comparativo de partida. Así, tendría perfecto sentido comparar los números de dos alturas diferentes y decir, por ejemplo, "el Teide es tres veces más alto que el Txindoki", lo cual es matemáticamente correcto.

Los Conceptos Métricos.

Los conceptos métricos (o cuantitativos) no tienen correspondencia en el lenguaje natural. Estos son una invención de los científicos que comenzó a hacerse efectiva a partir de la revolución científica del siglo XVII. Los conceptos métricos establecen una correspondencia entre números o vectores y objetos o sucesos respectivamente. Los que asignan números reales a objetos se denominan *magnitudes escalares*; mientras que los que asignan vectores a los sucesos se denominan *magnitudes vectoriales*. Así, podemos medir la altura de un individuo en metros o centímetros; o la velocidad de desplazamiento de un automóvil en kilómetros/hora o metros/segundo. Para hacer más sencilla la exposición centraremos nuestro análisis sólo en los primeros. Por lo que de aquí en adelante cuando hablemos de conceptos métricos nos estaremos refiriendo a conceptos métricos escalares.

Un concepto métrico *f* en un dominio *A* es simplemente una aplicación del dominio *A* sobre el conjunto de los números reales. Así, por ejemplo, el concepto métrico de masa asigna un número real a cada cuerpo. Estos conceptos normalmente son introducidos en ámbitos ya ordenados. Se dice que un ámbito ha sido metrizado cuando en éste ha sido introducido un concepto métrico[6].

Si <*A*, K, P> es un sistema comparativo que queremos metrizar a través de la función *f*, la primera exigencia es que *f* conserve el orden establecido por <K, P> en el dominio *A*. La condición formal que debe cumplir un concepto métrico *f* que trate de metrizar el sistema comparativo anterior exige que para cada dos objetos *x* e *y* del dominio *A* se cumpla: (1) si *x*K*y,* entonces $f(x)=f(y)$; (2) Si *x*P*y,* entonces $f(x)<f(y)$. Los conceptos métricos no sólo asignan números a las cosas, sino que nos aportan información en términos cuantitativos acerca del orden en que aparecen los objetos respecto a la característica o propiedad metrizada. La idea básica es que se representan determinadas características cualitativas a través de características cuantitativas de los números reales. En realidad, se establece un *homomorfismo*[7] entre el sistema comparativo <*A*, K, P> y el sistema numérico <R, =, <>, donde R es el conjunto de los números reales y '=', '<' son la identidad y la relación "menor que" entre los números reales respectivamente.

Es posible identificar un concepto métrico con una escala, pero en ocasiones se identifica una escala con un homomorfismo concreto entre el sistema empírico y el sistema numérico, y

---

[6] Es importante recordar que no es lo mismo metrización que medida. Esta última no sería sino la búsqueda del número real o vector que el concepto métrico asigna a un objeto o acontecimiento determinado.

[7] Sean $\mathbf{A}=\langle A, R_1,\ldots, R_n, f_1, \ldots, f_m\rangle$ y $\mathbf{B}=\langle B, S_1,\ldots, S_n, g_1,\ldots, g_m\rangle$ dos sistemas *homólogos* (esto es, tienen el mismo número de funciones y relaciones; y hay correspondencia entre la aridad de las relaciones y funciones de un sistema con las del otro), la aplicación *h* es un *homomorfismo* de **A** en **B** si (y sólo si): (1) Si los elementos del dominio *A* $a_1,\ldots,a_n$ están relacionados mediante R_i, sus correspondientes imágenes $h(a_1),\ldots,h(a_n)$ también están relacionadas mediante S_i. (2) Si una función f_j asigna a los elementos $a_1,\ldots,a_n$ de *A* otro elemento a_{n+1} del dominio, g_j asigna a sus correspondientes imágenes $h(a_1),\ldots,h(a_n)$ un elemento $h(a_{n+1})$ de *B*.

el concepto métrico con la clase de todos los homomorfismos del primer sistema en el segundo. De esto último se deriva la posibilidad de obtener distintas transformaciones de escala para un mismo concepto métrico. En la práctica científica es habitual que un mismo concepto científico pueda expresarse en varias escalas.

Tres tipos de escalas: Ordinales, Proporcionales y de Intervalos.

Las *escalas ordinales* asignan números a los sistemas comparativos de modo que se conserve el orden establecido. La escala de Richter para los terremotos, la escala de Beaufort para los vientos y la escala de Mohs para la dureza de los minerales son ejemplos conocidos de escalas ordinales.

Veamos cómo se puede construir una escala a partir de un sistema comparativo ya existente. Sea *M* el conjunto de los minerales. Sean K y P las relaciones de coincidencia respecto a la dureza y de menor dureza según el test del rayado respectivamente. La escala de Mohs es un homomorfismo *f* entre el sistema comparativo <*M*, K, P> y el sistema numérico <R, =, <> tal que la función asigna los siguientes valores numéricos a los distintos minerales: *f*(talco)=1, *f*(yeso)=2, *f*(calcita)=3, *f*(fluorita)=4,…, *f*(diamante)=10. La mayor limitación de este tipo de escalas es que no miden las diferencias reales respecto a la característica en cuestión. En nuestro ejemplo, la de la dureza de los minerales.

La escala de Mohs sólo indica que unos objetos del dominio son más duros o menos que otros, pero no nos dice en cuánto se diferencian esos minerales entre sí respecto a esa característica. Puede decirse que las escalas ordinales no son más informativas que los propios conceptos comparativos a partir de los que fueron creadas. Como consecuencia de esta limitación son muchas las transformaciones que pueden obtenerse a partir del homomorfismo dado que dan lugar a homomorfismos del mismo tipo. Teniendo en cuenta el concepto de *transformación monótona*[8] podemos llegar al siguiente teorema: Si *f* es un homomorfismo de un sistema empírico en un sistema numérico y constituye una escala ordinal, entonces cualquier transformación monótona de *f* constituirá a su vez una escala ordinal[9].

Las escalas proporcionales, a diferencia de las escalas ordinales, establecen en términos precisos, determinando la proporción exacta, en cuánto es más o menos un objeto respecto a otro objeto del mismo dominio para una característica concreta. Los conceptos básicos de la física –masa, tiempo, longitud, etc. – constituyen magnitudes aditivas o extensivas que nos permiten la obtención de escalas. Veamos el ejemplo analizado por Mosterín (Ibid, p. 30) para la escala de masa: “Supongamos la operación empírica consistente en colocar dos objetos

[8] Decimos que una función *h*: *A*® R es una *transformación monótona* de *f* si (y sólo si) para cada dos elementos *x* e *y* cualesquiera del domino ocurre que si *f(x)*<*f(y)* entonces *h(x)*<*h(y),* y que si *f(x)*=*f(y)* entonces *h(x)*=*h(y)*.

[9] Debido a la indeterminación numérica propia de las escala ordinales es imposible hacerse con una fórmula general que nos permita pasar de una escala ordinal a otra homóloga.

juntos (que por convención dan lugar al mismo objeto) en el mismo platillo de la balanza, y designamos esta operación mediante el signo $\perp$. Sea $<A, K, P, \perp>$ el sistema empírico formado por el conjunto de los objetos físicos manejables, las relaciones de coincidencia y precedencia respecto al test de la balanza y la operación que acabamos de definir. Una escala de masa es un homomorfismo de $<A, K, P, \perp>$ en $<R, =, <, +>$, es decir una función f: $A \rightarrow$ R, tal que para cualesquiera x y z de A: (1) si xKy, entonces $f(x)=f(y)$; (2) Si xPy, entonces $f(x)<f(y)$; (3) $f(x \perp y)= f(x)+ f(y)$”. Así pues, siempre que podamos encontrar una función que cumpla estas tres condiciones estaremos frente a una escala proporcional de masa. Para fijar una escala hay que elegir un objeto del dominio y asignarle por convención un número; como sucede con el kilo-patrón, para el caso de la masa, al que se le ha asignado el número 1000.

Es fácil comprobar que no todas las transformaciones monótonas de escalas proporcionales dan como resultado otra escala proporcional. En realidad, las únicas transformaciones que nos garantizan el paso de una escala proporcional a otra también proporcional se denominan transformaciones similares. Decimos que una función h: $A \rightarrow$ R es una *transformación similar* de f si (y sólo si) hay un número positivo K tal que para cada objeto x del dominio ocurre que $h(x)$=K×$f(x)$. Por ejemplo, para pasar de una escala en libras a otra en kilos basta con multiplicar por 0,453. Cualquier transformación similar en el sistema métrico decimal puede servir igualmente como ejemplo.

Hay que recordar que no es suficiente para el buen funcionamiento de una disciplina científica servirse de conceptos métricos que sólo se ajusten a las condiciones formales de adecuación. En la práctica son las condiciones materiales las que, si se estima necesario, conducen a la revisión de los objetos-patrones que sirven para fijar las escalas.

Para introducir las *escalas de intervalos* debemos definir previamente el concepto de transformación lineal positiva. Dadas dos aplicaciones f y h de un dominio A en los números reales, decimos que h es una *transformación lineal positiva* de f si (y sólo si) hay un número positivo r y un número fijo s tales que para cada objeto x de A ocurre que $h(x)$=r×$f(x)+ s$. Ahora sí estamos en disposición de establecer el siguiente teorema: Un homomorfismo de un sistema empírico en otro numérico es una escala de intervalos si (y sólo si) toda transformación lineal positiva de un homomorfismo es a su vez un homomorfismo entre los mismos sistemas. Mientras las magnitudes extensivas (masa, longitud, etc.) dan lugar a escalas proporcionales, las magnitudes intensivas (temperatura, densidad, etc.) nos permiten construir escalas de intervalos.

Las escalas de temperatura son ejemplos de escalas de intervalos. Sirviéndonos de las transformaciones lineales positivas correspondientes podemos pasar sin problemas de una escala de temperatura en grados centígrados a otra en grados Fahrenheit, y viceversa:

(F-32) × 5/9 = C (grados centígrados);
C × 9/5 + 32 = F (grados Fahrenheit).

Tipos de metrización y sus ventajas.

Hay dos modos de llevar a cabo la metrización de un dominio dependiendo de si los conceptos métricos son definidos en función de otros o no. En el primer caso hablamos de *metrización derivada* y en el segundo de *metrización fundamental*. Aunque la mayoría de las magnitudes son introducidas en función de otras previamente definidas, es obvio que algunas magnitudes deben introducirse sin presuponer la previa introducción de otras magnitudes. El verdadero proceso de metrización comienza con la introducción de las magnitudes fundamentales. Lo que interesa es que ese concepto métrico fundamental en principio introducido para un ámbito limitado pueda ser generalizado a otros ámbitos. Si a partir de una serie de hipótesis y teorías inferimos que el concepto fundamental está en correlación universal con otros conceptos de mayor aplicabilidad, entonces estaremos frente a una generalización del concepto métrico en cuestión. Este conjunto de correlaciones con otros conceptos de mayor alcance permitirá a su vez la creación de un concepto más universal y de mayor aplicabilidad.

Las ventajas ofrecidas por los conceptos métricos frente a los clasificatorios y comparativos son de tal calibre que los convierte en un instrumento imprescindible para el lenguaje científico. Una de las mayores ventajas de su utilización es que podemos llegar a ordenar dominios infinitos. Además, estos conceptos no sólo permiten la formulación de leyes científicas, sino que facilitan su búsqueda de manera notable. Se trata en definitiva de caracterizar y representar los problemas del mundo real en términos matemáticos de modo que resulten más manipulables y se les pueda encontrar soluciones más fácilmente. Gracias a los conceptos métricos podemos hacer el camino de ida y vuelta entre los sistemas empíricos y los sistemas numéricos.

Una mejor comprensión de las características y propiedades de los conceptos científicos nos ayuda a aumentar el número de problemas tratables en ámbitos científicos incipientes que necesitan un mayor grado de estructuración y matematización. Es conveniente, no obstante, distinguir metrización de matematización. Matematizar un dominio no equivale a utilizar conceptos cuantitativos. "Si bien es cierto que los conceptos cuantitativos son los más útiles para el rápido desarrollo de la ciencia (…), hay que juzgar con cautela y de modo pragmático esta cuestión, y no rechazar dogmáticamente una disciplina como no-científica por el simple hecho de que no aparezcan conceptos cuantitativos en ella" (Díez y Moulines, Ibid, 100). De hecho hay muchas ramas de la matemática (álgebra, topología, lógica matemática, teoría de conjuntos, teoría de grafos,…) que ya han sido utilizadas con éxito en algunas áreas científicas y que no presuponen conceptos cuantitativos.

Bibliografía.

Bunge, M. (2004), *La Investigación Científica*. México, D.F., Siglo XXI editores.

Borges, J. L. (1974), *Obras Completas*. Buenos Aires, Emecé.

Díez, J. y C. Ulises Moulines (1997), *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona, Ariel.

Hempel, (1952), *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*. Chicago, University of Chicago Press.

Mayr, E. (1969), *Principles of Systematic Zoology*. Nueva York, McGraw-Hill Book Co.

Mosterín, J. (1984), *Conceptos y Teorías en la Ciencia*. Madrid, Alianza Universidad.

O'Grady et al. (1997), *Contemporary Linguistics. An Introduction.* London, Longman.

Suppe, F. (1974), *The structure of scientific theories.* (La estructura de las teorías científicas. Madrid, Editora Nacional, 1979).

Sneath, P. y R. Sokal (1973), *Numerical Taxonomy*. San Francisco, W. F. Freeman and Co.

Stegmüler, W. (1970), *Theorie und erfahrung*. Heildelberg, Springer Verlag. *Teoría y Experiencia*. Barcelona, Ariel, 1979.