

## UNIDAD IV. LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Del libro *Filosofía de la Ciencia Natural*, de Carl G. Hempel.  
Capítulo 7. Formación de los conceptos.  
Del libro *Conceptos y teorías en la ciencia*, de Jesús Mosterín  
Capítulo 1, La estructura de los conceptos científicos  
Capítulo 2, Taxonomía Formal

### IV.1. LA DEFINICIÓN

Si queremos que los términos científicos cumplan su objetivo, sus significados tendrán que ser especificados de tal modo que hagan seguro que los enunciados resultantes sean propiamente contrastables y que se presten a una utilización en explicaciones, predicciones y retrodicciones. Será útil para nuestros propósitos distinguir claramente entre 'conceptos', tales como los de masa, fuerza, campo magnético, etc., y los correspondientes 'términos', las expresiones verbales o simbólicas que representan esos conceptos. Para referirnos a términos particulares, como para referirnos a cosas particulares de cualquier otro tipo, necesitamos nombres o designaciones de ellos. De acuerdo con una convención típica de la lógica y la filosofía analítica, formamos un nombre o designación de un término colocándolo entre comillas. Según esto, hablamos de los términos "masa", "fuerza", etc.

Nos ocuparemos en este capítulo de los métodos para especificar los significados de los términos científicos y de los requisitos que estos métodos tienen que cumplir. La definición puede parecer el método más obvio, y quizá el único adecuado, de caracterizar un concepto científico. Examinemos este procedimiento.

Las definiciones se dan con uno de estos dos propósitos:

- DESCRIPTIVAS.
  - Para enunciar o describir el significado o significados aceptados de un término ya en uso.
  - Las definiciones descriptivas se pueden expresar del siguiente modo: A Tiene el mismo significado que B, donde A es el término que ha de ser definido, o definiendum, mientras que B sería la expresión definidora, el definiens. Por ejemplo: "Apendicitis" tiene el mismo significado que "inflamación del apéndice".
  - Las definiciones como éstas se proponen analizar el significado aceptado de un término y describirlo con la ayuda de otros términos cuyo significado debe haber sido comprendido con anterioridad si se quiere que la definición sirva a su propósito. Se llamarán también, por tanto, definiciones descriptivas analíticas.
  - Las definiciones descriptivas de tipo no analítico especifican el ámbito de aplicación, o la extensión de un término; más que su significado o intensión.

- Las definiciones descriptivas de cualquier tipo pretenden describir ciertos aspectos del uso aceptado de un término; se puede decir, por tanto, que son más o menos exactas, o incluso verdaderas o falsas.
- ESTIPULATIVAS.
  - Para asignar, por estipulación, un significado especial a un término dado, que puede ser una expresión verbal o simbólica acuñada por primera vez, o un término "viejo" que se ha de usar en un sentido técnico específico (por ejemplo, el término "rareza" tal como se usa en la teoría de las partículas elementales).
  - Las definiciones estipulativas sirven para introducir una expresión que se ha de usar con algún sentido específico en el contexto de una discusión, de una teoría, etc. a esas definiciones se les puede dar la siguiente forma:
    - A ha de tener el mismo significado de B, o bien
    - Por A entendemos lo mismo que por B
  - Las definiciones resultantes tienen el carácter de estipulaciones o convenciones, que evidentemente no se pueden calificar de verdaderas o falsas. Un ejemplo: Las partículas de carga cero y número másico uno serán llamadas neutrones.

Un término definido mediante una definición analítica o mediante una definición estipulativa puede siempre ser eliminado de una oración sustituyéndolo por su definiens: este procedimiento convierte la oración en una oración equivalente en la que ya no aparece ese término. Idealmente, todo término utilizado en una teoría científica o en una determinada rama de la ciencia debería estar definido con precisión. Pero esto es lógicamente imposible; para haber dado una definición de un término, tendríamos que haber definido a su vez cada uno de los términos usados en el definiens y, luego, de los términos usados para definir los términos de éste, y así sucesivamente. Pero en las cadenas resultantes de definiciones debemos evitar los "círculos", que definen un término con ayuda de alguno de sus predecesores en la cadena. Un ejemplo de ello es:

- "progenitor" ha de tener el mismo significado que "padre o madre"
- "padre" ha de tener el mismo significado que "progenitor varón"
- "madre" ha de tener el mismo significado que "progenitor, pero no padre"

La única manera de escapar a esta dificultad en nuestro intento de definir todo término de un sistema dado será no usar nunca en un definiens un término que haya sido definido antes en la cadena. Pero entonces nuestra cadena de definiciones no tendrá fin. Así, pues, no todo término de un sistema científico se puede definir por medio de otros términos del sistema: tendrá que haber un conjunto de términos primitivos, de los que no se da ninguna definición dentro del sistema, y que sirven como base para definir todos los demás términos. Utilizaremos el término 'oración interpretativa' para referirnos a enunciados que de este modo especifican los significados de los términos teóricos propiamente dichos, o de los "términos característicos" de una determinada teoría por medio de su vocabulario preteórico, disponibles desde antes.

## Definiciones operacionales

Una concepción muy específica del carácter de las oraciones interpretativas ha sido propuesta por la escuela operacionista de pensamiento. La idea central del operacionismo es que el significado de todo término científico debe ser especificable indicando una operación definida de contrastación que proporcione un criterio para su aplicación.

El procedimiento operacional invocado por una definición operacional se debe elegir de tal modo que pueda ser llevado a cabo de un modo inequívoco por cualquier observador competente, y que el resultado pueda ser comprobado objetivamente y no dependa esencialmente de la persona que lleva a cabo la contrastación.

Las ideas básicas del operacionismo han ejercido considerable influencia sobre el pensamiento metodológico en la psicología y en las ciencias sociales, donde se ha puesto gran énfasis en la necesidad de proporcionar criterios operacionales claros para términos que hayan de ser utilizados en hipótesis o teorías. Hipótesis tales como que la gente más inteligente tiende a ser emocionalmente menos estable que sus compañeros menos inteligentes, por ejemplo, no pueden ser contrastadas objetivamente, a menos que se disponga de criterios claros de aplicación para los términos que intervienen en ellas.

No obstante, una interpretación operacionista demasiado restrictiva del carácter empírico de la ciencia ha tendido a oscurecer los aspectos teóricos y sistemáticos de los conceptos científicos y la fuerte interdependencia de la formación de conceptos y la formación de teorías. El alcance empírico en cuanto reflejado en criterios claros de aplicación, sobre los que el operacionismo insiste mucho, y con razón, no es el único desiderátum de los conceptos científicos: el alcance sistemático es otro requisito indispensable; tanto, que la interpretación empírica de los conceptos teóricos puede sufrir cambios en interés de mejorar la potencia sistemática del entramado teórico. En la investigación científica, la formación de conceptos y la formación de teorías deben ir de la mano. El hecho de que una hipótesis, tomada aisladamente, no ofrezca posibilidad de contrastación operacional no proporciona una razón suficiente para rechazarla como desprovista de contenido empírico o como carente de sentido científicamente. Lo que debemos, más bien, es considerar el enunciado en el contexto sistemático de las demás leyes e hipótesis en que aquél ha de funcionar, y examinar las implicaciones contrastadoras a que puede dar lugar.

El Operacionismo (imagen visual e imagen acústica)

"La idea central del operacionismo es que el significado de todo término científico debe ser especificable indicando una operación definida de contrastación que proporcione un criterio para su aplicación (...) el término ácido podría ser "definido operacionalmente del siguiente modo, con el fin de averiguar si el término "ácido" se aplica a un líquido dado, introduzcamos una tira de papel tornasol en él; el líquido es un ácido si y sólo si el papel tornasol se vuelve rojo. Este criterio indica una operación contrastadora..."()

De esta manera habría un ejercicio de contrastación en los términos científicos, que permitiría a los investigadores referirse a objetos y fenómenos contrastados en el empleo

de los términos de referencia. La idea del operacionalismo parece consistir en evitar las ambigüedades y multivocidades del lenguaje, de manera de atrapar el significado definiendo los términos empleados por operaciones contrastadoras. Hempel distingue un uso operacionista de los conceptos, del uso teórico y, entre ambos, la existencia de conceptos-puente, capaces de relacionar e integrar la teoría y la experiencia.

En el análisis de términos, entiende las teorías como redes de hilos entrecruzados, en cuyos puntos de entrecruzamientos aparecen los conceptos-nudos, que son los centrales en los sistemas teórico-observacionales. Hempel, en todo caso,

distingue siempre la idea de lo observable de la observabilidad (), distinción importante referida a la posible postulación de entidades potencialmente observables, pero cuyo procedimiento demostrativo (operacional) no se encuentra todavía disponible en la teoría que lo describe y lo integra. El campo de la experiencia posible, en sentido kantiano, va abriéndose así como postulación de entidades teóricas que sistematizan y organizan ("sintetizando" la percepción); pero también con entidades cuya observabilidad, en determinadas condiciones, es posible operacionalmente.

En el área de la Física, siempre han existido entidades teóricas como "fuerza", "ímpetus", "movimiento"; pero también una notable diferencia entre lo operatorio (p.ej. la caída de los cuerpos en un barco en movimiento), y una clase de movimiento no-operatoria (el movimiento de la tierra), cuya operatoria puede demostrarse mediante el cálculo geométrico, y, en todo caso, su visibilidad no es directamente empírica, sino que surge de definiciones y mediciones de conceptos tales como "longitud". En relación a las mediciones, según Hempel, los operacionalistas tienen la dificultad de, si se quiere evitar el convencionalismo, explicar que dos procedimientos conduzcan al mismo concepto, lo que induciría a pensar que se trata de dos conceptos diferentes, como si se tratase de una correspondencia "uno a uno" (a cada operación correspondería un concepto). Así:

...Por esta razón, sostiene Bridgman, no sería "seguro" considerar que los procedimientos operacionales determinan uno y el mismo concepto: se debería considerar que criterios operacionales diferentes caracterizan conceptos diferentes; y a éstos deberíamos referirnos, idealmente, mediante términos diferentes. Así se pueden utilizar los términos "longitud táctil" y "longitud óptica" para referirse a las cantidades determinadas con la ayuda de varas de medir y de triangulación óptica respectivamente. De modo similar, tendríamos que distinguir entre temperatura-mercurio y temperatura-alcohol. ()

El empleo de dos escalas diferentes puede llegar a establecerse como válido si se estipula un modo de reducción que traslade los valores de lectura de una escala a otra. Esto no significa un relativismo, pero no se resuelve de manera operacionista, a menos que se considere la operatoria matemática como una forma cuasi-empírica. Es el mismo problema de la operatoria del movimiento y la operatoria del cálculo.

Si, en última instancia, es la escala la que determina el fenómeno, como sostenía entre otros J. Piaget, la habilidad en el manejo de símbolos en la operatoria abstracta (lógica y matemática) e una manera de sortear las dificultades del empirismo, ya que, para una comunidad científicamente formada en el empleo de dichas escalas, los fenómenos aparecen interpretados de otra manera que la de otras comunidades de científicos cuyas integraciones epistemológicas no se hayan realizado, pero, sobre todo, estas combinatorias se alejan del sentido común, si por él hay que entender el pensamiento no formado dentro de la integración operacionista y no-operacionista. Se superaría así el problema del

empirismo y el idealismo a la vez, pero ya no entenderíamos el realismo sino como la adquisición de estructuras cognoscitivas relacionadas, en lo interno con los niveles de operatoria abstracta, y en lo externo con los contextos experimentales y la referencia a una comunidad de lenguaje provista por la profundización de la ciencia básica hacia una orientación experimental, en otras palabras, lo externo se interpreta como cierta configuración social que hace posible a determinadas formas del realismo establecer intersubjetividades. Las versiones internalistas y externalistas, una vez más. Finalmente, regresando a Popper. Vale aclarar que su posición metafísicamente realista es una decisión epistemológica, y tal vez existencial, que no se funda en una contrastación o falsación del idealismo, el empirismo o el escepticismo, sino en no aceptar por realismo algo así como a la "científica" mesa de Eddington sino, en todo caso, una defensa del sentido común, que para él, opera, al igual que las ciencias, en el ensayo y error.

## La naturaleza de las oraciones interpretativas

La concepción operacionalista proporciona sugerencias útiles, pero precisa de modificaciones considerables. En particular, hemos de rechazar la noción de que un concepto científico es "sinónimo" de un conjunto de operaciones:

- Puede haber varios criterios alternativos de aplicación de un término.
- Para entender el significado de un término científico y usarlo con propiedad, tenemos que conocer su papel sistemático, indicado por los principios teóricos en los que funciona y que lo conectan con otros términos teóricos.
- Un término científico no se puede considerar "sinónimo de" un conjunto de operaciones en el sentido de que su significado esté totalmente determinado por ellas; porque cualquier conjunto de operaciones contrastadoras proporciona criterios de aplicación de un término sólo dentro de un ámbito limitado de condiciones. Así, las operaciones de usar una vara de medir o un termómetro proporcionan solo interpretaciones parciales de los términos "temperatura" y "longitud"; porque cada uno de ellos es aplicable sólo dentro de un ámbito limitado de circunstancias.

Los enunciados que especifican por completo el significado de un determinado contexto en el que aparece un término dado se llaman definiciones contextuales, para distinguirlas de las llamadas definiciones explícitas, tales como: "ácido" tendrá el mismo significado que "electrolito que proporciona iones de hidrógeno". De modo análogo, podemos decir, entonces, que las oraciones interpretativas de una teoría científica proporcionan normalmente interpretaciones contextuales de los términos teóricos.

Debería estar claro que los términos de una teoría científica no se pueden considerar propiamente como si cada uno de ellos tuviera asociado un número finito de criterios operacionales específicos, o, más en general, de enunciados interpretativos. Porque se supone que los términos interpretativos determinan modos de contrastar oraciones que contienen el término interpretado; es decir, que cuando se combinan con esas oraciones,

han de dar lugar a implicaciones que las contrastan, redactadas en términos de un vocabulario disponibles desde antes.

## **IV.2. CLASIFICACIONES Y TAXONOMÍAS**

### **Clasificar**

Una de las actividades científicas más frecuentes es la que consiste en clasificar los individuos de un ámbito determinado, de tal modo que podamos hablar, pensar y formular leyes o hipótesis sobre ellos con más facilidad.

Cuando nos ponemos a clasificar un dominio de objetos, no consideramos terminada nuestra tarea hasta que la clasificación o colección de clases introducidas los abarca a todos. Esto puede precisarse diciendo que el resultado de clasificar un conjunto  $A$  ha de constituir un recubrimiento de  $A$ .

Las clases que constituyen una clasificación pueden solaparse. Por ejemplo, la clasificación de los hombres por nacionalidades es solapante, pues hay individuos con doble nacionalidad. El resultado de clasificar  $A$  no solapantemente constituye no sólo un recubrimiento de  $A$ , sino incluso una partición de  $A$ . Las clasificaciones más importantes científicamente son las no-solapantes.

En lo sucesivo, siempre que hablemos de clasificaciones, queremos decir clasificaciones no-solapantes. No hay que confundir "clasificación" con "diagnóstico" o "identificación". La primera clasifica un dominio de individuos en clases, la segunda identifica a uno de esos individuos como perteneciente a una de esas clases previamente establecidas.

### **Condiciones formales de adecuación de las clasificaciones**

Un concepto clasificatorio sirve para referirnos a un grupo determinado de objetos o sucesos que tiene algo en común. Los sustantivos y adjetivos del lenguaje ordinario suelen corresponder a conceptos clasificatorios: hombre, mujer, árbol, camión, azul, etc. El repertorio de conceptos clasificatorios de un lenguaje natural es siempre muy limitado. 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 clasificatorios. Para que una clasificación sea aceptable ha de cumplir dos tipos de condiciones de adecuación.

- Unas condiciones formales de adecuación, comunes a todas las ciencias
- Ciertas condiciones materiales de adecuación peculiares de la ciencia de que se trate.

En general se espera que esté perfectamente delimitado cuál sea el ámbito o dominio de individuos que vamos a clasificar, que a cada concepto clasificatorio corresponde al menos

un individuo de ese ámbito, que ningún individuos 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 identificamos los conceptos clasificatorios con sus extensiones, entonces podemos resumir las condiciones formales de adecuación de una clasificación (no solapante) diciendo que la clasificación debe constituir una partición, en el sentido matemático de este término.

Sea  $A$  una clase cualquiera de objetos. Una colección de conjuntos  $B_1... B_n$  constituye una partición de  $A$  si y sólo si

- cada uno de esos conjuntos es un subconjunto no vacío de  $A$ ,
- no hay ningún elemento común a dos de esos conjuntos, y
- cada elemento de  $A$  está en alguno de esos conjuntos.

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

Hay una estrecha correlación entre las particiones y las relaciones de equivalencia. Por ejemplo, el tener el mismo número de protones en el núcleo es una relación de equivalencia entre átomos. Con frecuencia se introducen las particiones mediante relaciones de equivalencia. La partición de los átomos en elementos químicos es la partición inducida por la relación de equivalencia de tener igual número de protones en el núcleo.

## Condiciones materiales de adecuación de las clasificaciones

En la práctica científica no sólo se exige que una clasificación satisfaga las condiciones formales de adecuación que acabamos 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? Limitémonos a considerar el asunto en lo que atañe a la zoología. ¿Qué es una clasificación zoológica natural?

Podemos clasificar a los animales en tres clases: la de los que no llegan a los 2 años de vida, la de los que mueren entre los 2 y los 80 años y la 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 zoólogos por no ser natural. Natural sería la clasificación de los animales en phyla (cordados, equinodermos, artrópodos, etc.), ¿por qué? La respuesta es que podemos enunciar muchas e interesantes leyes generales acerca de los artrópodos, por ejemplo, pero no acerca de los animales que viven entre 2 y 80 años. En general, suele considerarse que una clasificación es más natural que otra si los conceptos que constituyen la primera son más fecundos científicamente.

## Jerarquías de clasificaciones

Un dominio  $A$  de individuos puede clasificarse o partirse de muy diversas maneras. Así, por ejemplo, los animales puede clasificarse geográficamente, o ecológicamente, o sistemáticamente, por especies, etc. unas clasificaciones o particiones son, a veces, más finas que otras, pero con frecuencia son incomparables entre sí. La clasificación geográfica de los animales es incomparable con su clasificación sistemática en especies, pero esta última es comparable con su clasificación sistemática en órdenes y resulta más fina que ella.

Una partición es más (o igual de) fina que otra cuando hace todas las distinciones que esa otra hace, y quizás todavía algunas más.

Dadas dos clasificaciones del mismo dominio de objetos, a veces es posible compararlas en cuanto a finura y, a veces, no. Por ejemplo, la clasificación de los primates en prosimios y simios no es comparable con la clasificación de los mismos en machos y hembras. 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.

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.

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 un taxón de  $D$  es una clase de elementos de  $D$  que pertenece a una de las particiones de  $D$  consideradas. La jerarquía taxonómica más conocida es la jerarquía procedente de Linneo para la clasificación de los organismos, la cual clasifica a los seres vivos en diferentes niveles jerárquicos, comenzando originalmente por el de Reino. Hoy, se considera el Dominio como una jerarquía suprarreinal, dada la reciente necesidad de incluir también a Bacterias y a Arqueas. Los reinos se dividen en Filos o Phyla (en singular, Phylum) para los animales, y en Divisiones para plantas y otros organismos. Éstos se dividen en Clases, luego en Órdenes, Familias, Géneros y Especies

La taxonomía formal es la parte más abstracta de la taxonomía, se limita a considerar y explicitar las estructuras formales o matemáticas implícitas en la actividad de clasificar.

## Jerarquías taxonómicas

Cuando nos encontramos con clasificaciones cuyas particiones son comparables entre sí, éstas pueden formar una jerarquía taxonómica. Así, podemos clasificar las dolencias que nos aquejan en hereditarias y adquiridas. Más finamente, podemos clasificar las adquiridas en traumáticas, degenerativas e infecciosas. Y así sucesivamente. Todos los individuos (en

este caso, las dolencias concretas) que sean miembros de un taxón de la partición más fina, serán también miembros de un mismo taxón en cada una de las otras clasificaciones.

En el contexto de una jerarquía taxonómica  $H$ , las diversas particiones que forman  $H$  se suelen llamar categorías de  $H$ . así los individuos del dominio básico  $A$  son miembros de los taxones de las diversas particiones o categorías. Los taxones mismos son miembros de las particiones o categorías. Y las particiones o categorías son miembros de la jerarquía taxonómica.

Dada una jerarquía taxonómica  $H$ , cada categoría de esa jerarquía tiene un cierto rango o nivel. Puesto que todas las categorías o particiones de  $H$  son comparables entre sí, podemos ordenarlas de tal modo que la más fina aparezca en primer lugar (tenga rango 1), la siguiente más fina tenga rango 2, etc., hasta llegar a la menos fina, que tendrá máximo rango o nivel. También se suele decir que un taxón tiene rango, a saber, el rango de la categoría a la que ese taxón pertenece.

### **La paradoja de Gregg**

Por regla general un taxón de cierto nivel es un subconjunto propio de otro taxón de nivel superior, pero no coincide con él. Estos taxones normales, que incluyen varios taxones de nivel inferior, se llaman taxones politépicos. Sin embargo, no todos los taxones son politépicos, también los hay monotépicos.

En su clasificación botánica los ginkgos, los conocidos árboles procedentes de China, pertenecen a la especie *Ginkgo biloba*, al género *ginkgo*, a la familia *ginkgoaceae* y al orden *ginkgoales*. Pero todos esos taxones, de diferente rango, contienen exactamente los mismos individuos: los ginkgos. El orden *ginkgoales* incluye una sola familia, que incluye un solo género, que posee una sola especie. Todos esos taxones son monotépicos.

Si los taxones de la clasificación biológica son conjuntos, entonces los taxones monotépicos (que tienen los mismos elementos) han de ser idénticos, pues dos conjuntos con los mismos elementos son el mismo conjunto. Pero los biólogos sistemáticos, que establecen las clasificaciones, piensan que una especie es siempre algo muy distinto de una familia, por ejemplo. Por tanto, aunque una familia y una especie tengan los mismos elementos, serán taxones distintos. El primero que se dio cuenta de esta dificultad fue John R. Gregg, y desde entonces se conoce como la paradoja de Gregg.

Desde un punto de vista intuitivo, lo más satisfactorio es considerar los taxones como conjuntos de organismos. El problema de Gregg puede resolverse (o, mejor dicho, disolverse) por el trivial expediente de distinguir los taxones a secas, que serán meros conjuntos de organismo, de los taxones jerarquizados, que serán pares ordenados de taxones a secas y rangos. Por tanto dos taxones monotépicos coinciden en cuanto taxones a secas (son el mismo conjunto de organismos), pero difieren en cuanto taxones jerarquizados (pues poseen rango distinto). Y el que los consideremos de un modo u otro depende de nosotros, no de ellos.

## Superposición y fusión de particiones

Frecuentemente obtenemos nuevas e interesantes particiones superponiendo dos particiones que ya teníamos. La nueva partición así obtenida es más fina que ambas y recoge todas las distinciones hechas por cualquiera de ellas. La superposición de particiones para la producción de nuevas particiones ocurre en casi todas las ciencias. En fonología, por ejemplo, la partición de las consonantes por su punto de articulación se superpone con frecuencia con la partición de las consonantes por su modo de articulación, para sí producir una nueva partición de las consonantes, que es más fina y más informativa que cualquiera de las otras dos, tomadas por separado.

Cuando fusionamos dos particiones, juntamos en un solo taxón todos los taxones de ambas particiones que son comunicables entre sí por un camino de taxones no-disjuntos.

La noción intuitiva de camino puede precisarse mediante una función numérica que oscila entre taxones comunicados (no-disjuntos) de ambas particiones. Dos taxones son comunicables si hay un camino de uno a otro. Un grupo máximo de taxones comunicables forman una isla. Y la fusión de ambas particiones es precisamente el conjunto de esas islas, que forman una nueva partición.

Un retículo es una ordenación parcial en la que cada par de elementos poseen un ínfimo (una máxima cota inferior) y un supremo (una mínima cota superior). Ahora bien, dadas dos particiones cualesquiera de  $A$ , su ínfimo es precisamente su superposición, y su supremo es precisamente su fusión. Las particiones de un dominio dado forman un **retículo** respecto a las operaciones de superposición y de fusión.

## IV.3. CONCEPTOS MÉTRICOS

El mundo percibido es la resultante de al menos dos factores: nuestro aparato sensorial y el mundo exterior. El mundo pensado es también la resultante de al menos dos factores: nuestro sistema conceptual y el mundo real. En nuestra actividad científica tenemos que partir de nuestro aparato sensorial y del sistema conceptual plasmado en nuestro lenguaje ordinario. Pero difícilmente podría ponerse en marcha la empresa científica si no nos fuera posible trascender las limitaciones de nuestro aparato sensorial y conceptual mediante instrumentos apropiados que constituyen como extensiones de nuestros sentidos: telescopios, microscopios, brújulas, cámaras fotográficas, etc. de igual modo podemos extender y precisar nuestro sistema conceptual introduciendo conceptos más precisos y de mayor alcance que los del lenguaje ordinario, conceptos científicos que nos permiten describir hechos y formular hipótesis con una precisión y universalidad crecientes.

La noción de verdad es relativa a la de enunciado, y ésta a la de concepto. Qué verdades haya depende de qué conceptos empleemos. 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 unívoco. Somos nosotros los que lo estructuramos al proyectar sobre él nuestros conceptos.

El importante papel desempeñado por los conceptos en la teorización científica ha despertado el interés de los metodólogos y filósofos de la ciencia. Lo primero que salta a la vista es la gran variedad de los conceptos científicos. 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: los conceptos clasificatorios, los conceptos comparativos y los conceptos métricos.

### **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 (una de coincidencia y otra de 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. Si identificásemos los conceptos cualitativos con los clasificatorios y los cuantitativos con los métricos, resultaría que en la ciencia se usan otros tipos de conceptos: los conceptos comparativos (o topológicos). 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.

El concepto de metal es en principio clasificatorio. Clasificamos los elementos químicos en metales y no metales. Pero al definir lo que entendemos por metal, es evidente que unos elementos poseen esas características en un grado mayor que otros. Por ello, podríamos tratar de reformular nuestra noción de metalidad como concepto comparativo, explicitando criterios que nos sirviesen para decidir, de dos elementos cualesquiera, si coinciden respecto a metalidad o si unos es más metálico que el otro.

### **Conceptos métricos**

Los conceptos métricos, también llamados conceptos cuantitativos o magnitudes, son una creación original de los lenguajes científicos. Son característicos de los estadios más avanzados de la ciencia.

Los conceptos métricos asignan números reales o vectores a objetos o sucesos. Los conceptos métricos -como masa o tiempo- que asignan números reales a determinados objetos o sucesos se llaman magnitudes escalares. Los conceptos métricos -como fuerza o velocidad- que asignan vectores se llaman magnitudes vectoriales. Para simplificar nuestro tratamiento, cuando en lo sucesivo hablemos de concepto métrico queremos decir concepto métrico escalar.

En una primera aproximación podemos decir que un concepto métrico en un dominio es simplemente una asignación de un número real a cada uno de los objetos del dominio. ´

En una segunda aproximación podemos observar que con frecuencia tratamos de introducir un concepto métrico en un ámbito en el que ya disponemos de un concepto comparativo. La metrización de un ámbito o de una característica consiste precisamente en la introducción de un concepto métrico en ese ámbito o para esa característica. (No hay que confundir metrización y medida. La medida supone que ya disponemos de un concepto métrico y consiste en la búsqueda del número real o vector que ese concepto métrico asigna a un objeto o suceso determinado). Muchas veces de lo que se trata es de metrizar un ámbito ya previamente ordenado, es decir, se trata de metrizar un sistema comparativo.

Metrizar sería representar determinadas características cualitativas o empíricas de los objetos de un dominio por características cuantitativas o matemáticas de los números reales. Lo que habremos hecho será, pues, establecer un homomorfismo entre el sistema empírico comparativo y el sistema numérico. Esta representación de un sistema empírico en otro numérico constituye la esencia del concepto métrico. Así, en una tercera aproximación, podemos decir que un concepto métrico es un homomorfismo de un sistema empírico en un sistema numérico homólogo. Dos sistemas son homólogos si tienen el mismo número de relaciones y de funciones y si los números arcos se corresponden (es decir, si la primera relación de un sistema es binaria, también lo es la del otro, etc.).

## Escalas ordinales

Las escalas ordinales son las más pobres desde el punto de vista de la información que nos suministran. Se limitan a asignar números, conservando el orden de un sistema comparativo dado.

En mineralogía se dispone de un concepto comparativo de dureza. Siempre que asignemos números a los minerales, de tal manera que a dos minerales les corresponda el mismo número o a uno de ellos un número menor que el otro según que coincidan en cuanto dureza o el uno sea menos duro que el otro, tendremos una escala ordinal de dureza. La escala de Mohs, por ejemplo, se limita a expresar numéricamente el hecho de que un mineral es más o menos duro que otro, pero no nos dice cuánto más o menos duro es que el otro. No mide diferencias de dureza. Precisamente por ello, son muchas las transformaciones permisibles, es decir, las transformaciones del homomorfismo dado que dan lugar a homomorfismo del mismo tipo.

Si en vez de asignar 1 al talco, 2 al yeso, 2 a la calcita, etc., como hacía Mohs, asignamos 0 al talco, 500 al yeso, 500,5 a la calcita, 507 a la fluorita, etc., esa asignación sigue siendo una escala ordinal de dureza. Precisamente esta indeterminación es la que impide que pueda haber una fórmula general para pasar de una escala ordinal a otra (correspondiente al mismo concepto).

## Escalas proporcionales

Las escalas proporcionales son las más ricas desde el punto de vista de la información que suministran. No sólo nos dicen que un objeto es más o menos que otro respecto a alguna característica, sino que nos señalan en qué proporción exacta el uno es más o menos eso que el otro.

Para fijar una escala proporcional se elige un objeto cualquiera de  $A$  y se le asigna convencionalmente un número cualquiera. Así, en la escala métrica decimal se elige un determinado cilindro de platino e iridio (el "kilo patrón") que se conserva en el museo de pesas y medidas de Sèvres y se le asigna el número 1.000. Con esto queda fijada la escala de masa en gramos.

A diferencia de lo que pasaba con las escalas ordinales, no todas las transformaciones monótonas de escalas proporcionales dan lugar a escalas proporcionales. Supongamos que un frasco destapado tiene 200 gramos de masa, y su tapa, 100 gramos. Por tanto, el frasco tapado tendrá 300 gramos de masa. Una transformación monótona de la escala métrica decimal en gramos podría asignar al frasco el número 2, a su tapa, el 1, y al frasco tapado el 9. Pero esa función no sería un homomorfismo.

Un homomorfismo  $f$  de un sistema empírico en un sistema numérico constituye una escala proporcional si y sólo si cualquier transformación similar de  $f$  es también un homomorfismo del mismo sistema empírico en el mismo sistema numérico. De aquí se sigue que para pasar de una escala proporcional a otra basta siempre con multiplicar por un número fijo, así, para pasar de una escala en kilos a otra en gramos basta con multiplicar por 1.000.

## Magnitudes extensivas e intensivas

Los conceptos de masa o de longitud son homomorfismos de un sistema empírico que contiene una operación binaria de combinación de objetos en un sistema numérico que contiene la adición. Las magnitudes de este tipo se llaman magnitudes aditivas o extensivas. La masa de un objeto compuesto de dos partes es igual a la suma de las masas de sus partes.

La longitud del objeto resultante de colocar dos objetos en línea recta uno a continuación de otro es igual a la suma de sus longitudes. Lo mismo ocurre con el tiempo (si un proceso se divide en dos partes tales que la segunda se inicia al acabarse la primera, la duración del proceso global es igual a la suma de las duraciones de sus partes).

Las magnitudes que no son extensivas se llaman intensivas. Así, respecto a la operación de combinar dos economías nacionales para formar una unión económica, los conceptos de producto nacional bruto o de población son extensivos o aditivos, mientras que los conceptos de renta per cápita o de tasa de natalidad son intensivos. Respecto a la

operación de vaciar el contenido de dos recipientes en un tercero el concepto de volumen es extensivo o aditivo, pero no los de temperatura o de densidad.

## Escalas de intervalos

Decimos que un homomorfismo de un sistema empírico en otro numérico es una escala de intervalos si y sólo si toda transformación lineal positiva de ese homomorfismo es otro homomorfismo entre los mismos sistemas. Así como los conceptos métricos intensivos dan lugar a escalas proporcionales, los conceptos métricos extensivos dan lugar a escalas de intervalos. Las escalas de temperatura, por ejemplo, son escalas de intervalos.

## Metrización fundamental y derivada

En la práctica la metrización suele realizarse simplemente mediante una definición en función de otras magnitudes previamente introducidas. Así, podemos introducir el concepto métrico de densidad mediante la definición:  $\text{densidad}(x) = \text{masa}(x) / \text{volumen}(x)$ , suponiendo que ya disponemos de los conceptos de masa y volumen. Cuando introducimos un concepto métrico en función de otros previamente introducidos, decimos que se trata de una metrización derivada. La mayoría de las metrificaciones son derivadas.

Este procedimiento no puede seguirse en toda metrización. Con algunos conceptos métricos hay que empezar, algunas magnitudes han de ser introducidas sin presuponer la previa introducción de otras. En estos pocos pero importantes casos hablamos de metrización fundamental. La introducción del concepto métrico de masa constituye una metrización fundamental, pues no presupone ninguna otra magnitud previa.

## Ventajas de los conceptos métricos

Las ventajas de los conceptos métricos respecto a los clasificatorios o comparativos son evidentes. El vocabulario científico resulta mucho más simple, claro y manejable. Con un solo concepto métrico tenemos infinitas posibles situaciones ya descritas y ordenadas. Si pretendiésemos sustituir un concepto métrico como el de temperatura por una serie de conceptos clasificatorios (gélido, frío, fresco, tibio, etc.), no sólo descendería considerablemente el nivel de precisión, sino que cargaríamos nuestra memoria con gran cantidad de términos distintos. Otra ventaja es la de facilitar la búsqueda de leyes científicas.

La razón profunda de todas las ventajas que se pueden aducir estriba en que los conceptos métricos constituyen un puente entre el mundo real y el mundo ideal de la matemática. El mundo real es un mundo poco manipulable intelectualmente. El mundo de la matemática, por el contrario, es un mundo perfectamente estructurado y ordenado. Por eso, en cuanto los problemas que se plantean en el mundo real resultan demasiado complicados e inabarcables,

la mejor estrategia para su solución suele consistir en representarlos como problemas matemáticos.