El concepto de medición. Reflexiones en torno a la medición de la innovación en América Latina

Fernelly Ruiz Gómez[1]

Resumen

El trabajo se ha derivado del seminario Perspectivas y Tópicos de la Ciencia y la Tecnología, dictado por el profesor Thomas Arnold Mormann en el marco del Doctorado en Estudios sobre Ciencia y Tecnología y Gestión de la Innovación Tecnológica, servido por la Universidad del País Vasco (UPV) a 16 académicos del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín. Se aborda el concepto de la medición (cuantitativa y cualitativa), analizando los planteamientos del físico, teórico e historiador de la ciencia francés Pierre Duhem en su obra *La teoría física* y las tesis del filósofo alemán Hermann Von Helmholtz en su obra *Numbering and Measuring from an epistemological viewpoint.*

En la primera parte se esbozan aspectos epistemológicos de la matemática como base fundamental para la medición. Helmholtz considera que los axiomas sobre los que se establecen la aritmética, el álgebra y la geometría son tomados de la experiencia y se han establecido por tanto tiempo en la memoria que puede dar la sensación de estar insertos en forma *a priori* en la razón humana, pero no es así, provienen de la capacidad del ser humano para numerar, contar y medir.

1 Ingeniero Electricista. Especialista en Telemática y estudiante de Doctorado en Gestión de la Innovación Tecnológica. Actualmente Director de la Escuela de Egresados del ITM (Medellín).

En el numeral dos se trata la medición cualitativa y cuantitativa, partiendo de la explicación que da Duhem a lo que significa declarar dos objetos como iguales en cierto aspecto y al carácter que debe tener la conexión física entre dos objetos para que se puedan observar en ellos atributos comparables. Finalmente, en la tercera parte del documento se explica, desde un punto de vista personal, la aplicación de estos fundamentos a la medición de la innovación en América Latina.

Palabras clave

Numeración, Cardinalidad, Medición cualitativa, Medición cuantitativa, Innovación, América Latina.

Abstract

The origin of this article is a seminar "Perspectives and topics of the science and technology" leaded by professor Thomas Arnold Mormann, in a PhD program named "Science and technology studies and, Technological innovation management", offered by "Universidad del País Vasco" (UPV) to 16 academics of "Instituto Tecnológico Metropolitano" (ITM) of Medellín. This text take measure concept (quantitative and qualitative), analyzing the ideas of the French Physic and historian of the science, Pierre Duhem in his work "The phusic theory", and the thesis of German philosopher Hermann Von Helmholtz in his work "Numbering and Measuring from an epistemological viewpoint".

Key words

Numbering, Cardinality, Quantitative measure, Qualitative measure, Innovation, Latin América.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente desde 1996 América Latina despliega serios esfuerzos en la medición de su capacidad innovativa, desarrollando ejercicios orientados a analizar la conducta tecnológica de las firmas, medir sus esfuerzos innovativos, evaluar los resultados logrados y compararse internacionalmente. Este asunto de importancia estratégica para guiar las acciones públicas y privadas, para mejorar el desempeño de las firmas en los mercados e impulsar el desarrollo económico y social de la región, ha sido liderado por organizaciones como la OEA, COLCIENCIAS, RICYT, CYTED, SECAB y OCyT[2].

Ahora, dado que la medición es una de las bases de todo desarrollo científico, lo que muestra la importancia del trabajo epistemológico al respecto, puede asegurarse que todo investigador que se interese por la medición de la innovación requiere una buena fundamentación en lo que significa medir.

Aquí se aborda el concepto de la medición (cuantitativa y cualitativa) analizando los planteamientos del físico, teórico e historiador de la ciencia francés Pierre Duhem[3] en su obra *La teoría física* (1906) y las tesis del filósofo alemán Hermann Von

---

2 Jaramillo, Hernán; Lugones, Gustavo y Salazar, Mónica. *Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe.* Manual de Bogotá, agosto de 2000, pp. 10-11.
Auspiciado por:
OEA: Organización de Estados Americanos.
COLCIENCIAS: Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas".
RICYT: Red de Indicadores Iberoamericanos de Ciencia y Tecnología.
CYTED: Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
SECAB: Secretaría del Convenio Andrés Bello.
OCyT: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.

3 Pierre Duhem (1861-1916) se consideró a sí mismo como físico teórico, también desarrolló una importante investigación epistemológica e histórica. Su obra *La teoría física* fue preparada mediante una serie de artículos trabajados entre 1887 y 1893.

Helmholtz[4] en su obra *Numbering and Measuring from an epistemological viewpoint* (1887), y además, se trata de explicar la relación de sus planteamientos con la medición de la innovación en América Latina.

Dice Duhem que, sea cual fuere el caso, el ser humano para medir tiende a utilizar siempre la ciencia de los números, la aritmética, y su prolongación que es el álgebra. De esto no se escapa la innovación, ya que para orientar el desarrollo de una sociedad se requiere conocimiento tanto de las magnitudes (los aspectos cuantitativos) como de las características (los aspectos cualitativos) de los procesos innovativos. Es por lo que en las primeras dos partes del artículo se tratan algunos importantes fundamentos epistemológicos relacionados con la medición y al final se plantean algunos puntos de vista personales, buscando establecer una relación conceptual con la medición de la innovación.

1. Los fundamentos de la matemática

Según Kant[5], la matemática no necesita extraer sus principios de la experiencia, sino del uso puro de la razón; los razonamientos matemáticos están basados en la razón pura y su progreso es posible gracias a la construcción de conceptos. Así consideró que con los principios matemáticos no se puede saber nada sobre las cosas en sí mismas, sino que más bien obliga a la realidad a

---

4 Helmholtz (1821-1894) fue un sorprendente científico en el que se reflejó mucho de lo valioso de la cultura alemana en el siglo XIX ya que, además de su gusto por la música y el arte, realizó investigaciones de filosofía, óptica y acústica fisiológica, electricidad, magnetismo, mecánica, termodinámica, entre otros temas; se doctoró en medicina en 1842 y de 1843 a 1848 se desempeñó como cirujano. En 1849 fue nombrado profesor de fisiología en Königsberg, donde permaneció hasta 1855, año en que tomó la cátedra de fisiología en Bonn, posteriormente se trasladó en 1858 a Heidelberg, y trece años más tarde fue llamado a Berlín como profesor de física (1887), donde permaneció hasta su muerte.

5 Tomado de la selección de textos matemáticos de todos los tiempos con notas y comentarios de James R., Newman, SIGMA *El mundo de las Matemáticas*, Tomo 4. Barcelona : Grijalbo Mondadori S.A., 1997. pp. 237 y 238.

someterse a tales principios. Lo escrito debe entenderse bien y en contexto, ya que también aseguró que todo conocimiento comienza por o con la experiencia, pero no todo conocimiento proviene de ella.

Es la mente la encargada de dotar de sentido a las sensaciones que generan la experiencia con base en unos principios generales, a los que llamó elementos *a priori* del conocimiento, considerando que todas esas sensaciones se someten a ellos. Estos principios son el tiempo y el espacio como formas de la percepción humana que son intuidas para guiar la sensibilidad de las personas. En realidad, asegura Kant, son dos intuiciones sensibles y no conceptos de la mente, no son abstracciones sino conceptos *a priori*, que se poseen previos a la experiencia.

El espacio es aquello que permite percibir la forma de todos los fenómenos mediante la sensibilidad propia de cada persona, es la base de la intuición de lo que sucede externamente. El tiempo es una condición subjetiva de la intuición humana, es algo en lo que se desliza la conciencia de toda persona, como si fuese una corriente de vivencias; el tiempo en sí mismo, fuera del sujeto, no es nada.

Kant, con estas bases sobre tiempo y espacio, consideró que la geometría se desprende de la intuición pura del espacio y que la aritmética surge por la capacidad de adicionar sucesivamente unidades en el tiempo. Esto significa que las estimaba no provenientes de la naturaleza, como leyes que dictamina la razón a la naturaleza, o dicho de otra forma, no es la realidad quien impone sus esquemas a la mente, sino la mente quien impone sus esquemas a la realidad.

Helmholtz, sin mostrarse totalmente en contra de las proposiciones de Kant, considera que todo lo que se sabe del espacio es lo que se ha aprendido por la experiencia, es decir, los axiomas que sustentan la aritmética y la geometría son sugeridos por la experiencia. Si se viviera en un espacio esférico, o seudoesférico, las impresiones sensibles del mundo dictarían a la razón la utilización de una geometría no euclideana (por ejemplo, las de Riemann o Lobachevsky) y nada de la intuición humana lo llevaría a adoptar un espacio plano, así la única prueba de validez de los axiomas de la aritmética y la geometría son el uso es la observación y la medida[6].

Para explicarlo, inicia refiriéndose a uno de los primeros trabajos serios al respecto realizado por dos alemanes dedicados a la matemática, Hermann y Robert Grassmann [5], quienes encabezaban sus deducciones con las siguientes proposiciones a manera de axiomas:

- Axioma I. Si dos magnitudes son iguales con una tercera, ellas son iguales entre sí, es decir, si a = b y b = c, entonces a = c
- Axioma II. La ley asociativa de la adición, $(a+b)+c = a+(b+c)$.
- Axioma III. La Ley conmutativa de la adición, $a+b = b+a$[7].
- Axioma IV. Si a y a* son iguales y a su vez b y b* son iguales, entonces (a+b) = (a*+b*).
- Axioma V. Si a y a* son iguales y b y b* no son iguales, entonces (a+b) es diferente de (a*+b*).

Con respecto a estos axiomas, anota Helmholtz, que allí subyacen dos conceptos que realmente no son explicados, el de magnitud y el de igualdad de magnitud; además agrega un tercer concepto implícito sin explicar, el de la unidad.

Adicionalmente menciona que otros matemáticos posteriores, como por ejemplo E. Schröder [7], se adhirieron esencialmente a las ideas de los hermanos Grassmann y tal como lo hicieron los primeros matemáticos conceptualizaron los números como objetos

6 James R., Newman, SIGMA. *El mundo de las matemáticas*, tomo 4, Barcelona : Grijalbo Mondadori S.A., 1997. p. 240.
Comentarios a la obra de Helmholz *Sobre el origen y la significación de los axiomas geométricos*, fruto de una conferencia pública en Heidelberg, 1870.

7 Además, los hermanos Grassman redujeron los axiomas II y III a uno solo: (a+b)+1 = a+(b+1).

cardinales, además, nunca pudieron liberarse de dichos axiomas tomándolos como las leyes del comportamiento de estos objetos.

Al concepto de número cardinal se llega de la evolución del concepto de conjunto, asociado primitivamente con la idea de grupo, colección, o agrupación; y del concepto de número, asociado inicialmente con la idea de cantidad de elementos de un conjunto. El estudio de los conjuntos numéricos trajo consigo problemas epistemológicos para explicar asuntos como: la continuidad de los números en una serie numérica, el concepto de infinito (lo infinitamente grande obtenido por la adición sucesiva de números y lo infinitamente pequeño obtenido por la división sucesiva de magnitudes), además de las propiedades empíricas de las magnitudes físicas para poder asociarlas a los números.

Después de miles de años de contradicciones, Georg Cantor [8] entre los años 1871 a 1874 creó una nueva y especial teoría matemática sobre el infinito. Dos conjuntos son equivalentes si es posible una correspondencia uno a uno entre sus respectivos elementos (si tienen el mismo número de elementos), entonces la característica que tiene en común un conjunto con todos los conjuntos equivalentes, y por la cual se distingue de todos los demás conjuntos no equivalentes, se llama número cardinal de aquel conjunto. Es decir, los números cardinales asociados a conjuntos finitos, los números 1, 2, 3..., se llaman los números naturales, por ejemplo, un conjunto con el número cardinal "cinco" es un conjunto cuyos elementos pueden ser numerados por los enteros 1, 2, 3, 4 y 5.

Luego Cantor llega más allá y demuestra que los conceptos de "equivalente" y "número cardinal" son transferibles a los conjuntos infinitos; hay infinidad de números naturales diferentes, por lo que el conjunto de todos los números naturales es infinito; ahora bien, existen otros conjuntos infinitos cuyos elementos podrían ser numerados utilizando el conjunto de todos los números naturales, por lo tanto son equivalentes. Entonces, un conjunto infinito numerable es un conjunto cuyos elementos pueden colocarse en correspondencia uno a uno con todos los números naturales, dio a este número cardinal el nombre de "aleph cero" y a partir de allí desarrolla la teoría de los números cardinales transfinitos o potencias transfinitas[8].

Helmholtz define la aritmética, o la teoría de los números puros, como un método construido sobre hechos psicológicos, los cuales enseñan la aplicación lógica de un sistema simbólico (el sistema numérico) con ilimitada extensión e ilimitada posibilidad de refinamiento; y agrega que esta teoría también explora diferentes formas de combinar sus símbolos por medio de operaciones y de cálculos, incluso en muchas ocasiones, para entender este sistema simbólico de números, se describen relaciones entre objetos reales o cuerpos naturales, se hacen mediciones y luego se extraen ciertos valores numéricos resultado de los cálculos a que haya lugar.

Considera que la numeración es un procedimiento basado en la capacidad humana para retener en la memoria una secuencia de eventos mediante la cual se comprenden actos que ocurren sucesivamente en el tiempo, por ello es entendible que se consideren inicialmente los números como series de símbolos por medio de los cuales el ser humano fija una cierta clase de sucesiones "en forma natural".

Lo "natural" de esta secuencia es un hecho, una norma o una ley dada en los comienzos de la humanidad por quienes iniciaron el desarrollo del lenguaje, pero así como los símbolos difieren de un lenguaje a otro, su secuencia también puede ser especificada arbitrariamente. Esto es, la serie numérica que se conoce como normal, lo es porque el hombre lleva esta estructura en la memoria y no porque la naturaleza dicte que inevitablemente debe ser así.

En las series de números, continúa Helmholtz, el proceso de ir hacia delante o hacia atrás es equivalente y a la vez esencialmente diferente, algo así como lo que sucede con la percepción del paso del tiempo en la que cada acto presente de la conciencia trabaja junto con las imágenes del pasado en la memoria, pero no del futuro, ya que aún no están disponibles.

---

8 Hahn, Hans, *El infinito*. En James R., Newman, SIGMA. *El mundo de las matemáticas*, tomo 4. Barcelona : Grijalbo Mondadori S.A., 1997. p. 385.

Toda persona constantemente hace uso de las imágenes disponibles en su memoria para analizar y comprender hechos que están llegando a ella a través de sus sentidos; al ir acumulando nuevas imágenes en su memoria para recibir otras, siente o percibe el paso del tiempo. Ahora, aunque cada día sea equivalente en duración, se dispone de las imágenes del ayer pero no de las del mañana, razón por la cual ir hacia atrás en el tiempo es esencialmente diferente para la razón humana que ir hacia delante en el tiempo.

Esta es la forma como una persona es consciente de los actos del presente y los diferencia claramente de las imágenes de la memoria existentes desde antes, lo que significa que toda persona contrasta las representaciones del presente con la sucesión de tiempos precedentes disponibles en su memoria. Por ello concluye, cada representación entrante a la conciencia es necesariamente subjetiva y, por tanto, la inserción de orden en la secuencia del tiempo es la inevitable forma de la intuición interior del ser humano.

En ese sentido se atribuye el símbolo uno (1) a aquel miembro de la secuencia con la cual se comienza, dos (2) al número siguiente y así sucesivamente. No hay razón para interrumpir esta secuencia en ninguna parte y para retornar en ella se vuelve al símbolo anterior. El sistema decimal, combinando solamente diez (10) diferentes símbolos, hace posible la construcción de una serie numérica que también se extiende indefinidamente sin repetir un símbolo numérico.

Helmholtz llegó así a otro axioma en el que se expresó que todo número es más grande que sus anteriores y menor que sus sucesores:

- Axioma VI. Si dos números son diferentes, uno de ellos debe ser más grande que el otro.

Y para formular proposiciones generales acerca de los números, aprovecha el bien conocido simbolismo del álgebra, en el que cada letra del alfabeto griego puede simbolizar un número arbitrariamente seleccionado, pero siempre deberá conservar ese valor asignado para un mismo teorema o cálculo.

Cuando se ha simbolizado cada número por una letra, por ejemplo a, se está simbolizando también el número inmediatamente siguiente como a+1, y su valor dependerá del valor asignado en una operación anterior. El símbolo de igualdad, a=b, simboliza que "a es el mismo número que b", por lo tanto, si a=b y b=c, entonces a=c, lo que valida el axioma I de la aritmética.

De lo anterior concluye que la serie normal de números es algo establecido y dado por la razón humana, es decir, se pueden considerar los miembros de la serie numérica como series de repeticiones también dadas en la conciencia de una persona, la cual inicia con un miembro seleccionado arbitrariamente que se puede simbolizar con el uno.

Por lo tanto, se simboliza como (a+b) aquel número en la serie principal al cual se llega numerando (a+1) primero, luego ((a+1)+1) y así sucesivamente hasta haber sumado b veces el uno. Esto quiere decir que en la serie numérica normal, el procedimiento de adición deberá siempre llegar a un resultado, y será siempre el mismo para los mismos valores de a y b.

De otro lado se desprende que (a+b) necesariamente es diferente de a y por lo tanto más grande si b es un número positivo y diferente de cero. Si c es un número más grande que a, necesariamente se encontrará c partiendo de a y sumando de uno en uno hasta lograrlo, y también se podrá numerar cuantas veces se requirió esto para llegar a c; si se hizo b veces, entonces: c= (a+b), de donde Helmholtz desprende este axioma:

- Axioma VII. Si un número c es más grande que otro a, entonces se puede representar c como la suma de a y un número positivo b que puede ser encontrado.

Pero, en realidad, Helmholtz prefiere presentar los fundamentos de la aritmética en forma de teoremas, así:

- Teorema I. Si a la suma (a+b) le sumo otro número c, obtengo el mismo resultado que cuando a la suma (a+c) le sumo el número b.

- Teorema II. Si en una suma, uno de los sumandos es 1, su orden puede ser cambiado (ley conmutativa según Grassmann): $1+a=a+1$.

- Teorema III. Si en una suma de dos sumandos el orden de los sumandos es alterado, el resultado no se altera: $a+b=b+a$.

Además, con respecto a la cardinalidad numérica, Helmholtz analiza que si se tiene una correspondencia, uno a uno, entre un conjunto de elementos (por ejemplo de letras) y una serie numérica (es decir que a cada una de ellas se le asocia un número), se podrá, mediante dicho conjunto numérico, hacer alusión a cada elemento y, viceversa, sin tener que repetir ni omitir ninguno de ellos. Además, si se cambia luego el orden de los elementos y se hace de nuevo la correspondencia, a cada uno le corresponderá un número y no se omitirán ni repetirán elementos. Con base en este ejercicio de correspondencia muestra que para numerar (o contar) se podría utilizar cualquier tipo de secuencia numérica arbitrariamente seleccionada, pero es común que se prefiera usar un tipo específico de secuencia que facilite el trabajo. Así llega este autor al siguiente teorema que además lo lleva luego a la generalización de la ley conmutativa de la adición:

- Teorema IV. Los atributos de una serie de elementos, que no se altera cuando arbitrariamente se cambia uno a uno el orden de elementos vecinos, no son alterados por una posible alteración en el orden de esos elementos.

Esto simplemente quiere decir que si $a = a^*$ y $b = b^*$, entonces $(a+b) = (a^*+b^*)$, y de allí se desprende la generalización de la ley conmutativa, esto es:

$$R + a + b + S = R + (b + a) + S$$

Donde las letras mayúsculas son el resultado de una suma cualquiera de números y las letras a y b, dos números específicos. Posteriormente explica las operaciones de sustracción y multiplicación, definiendo la diferencia (a–b) como aquel número que debe ser adicionado a b para obtener a, y la multiplicación como la adición sucesiva de números iguales.

Como conclusión de esta primera parte con respecto al pensamiento de Helmholtz, los axiomas sobre los que se establecen la aritmética, el álgebra y la geometría son tomados de la experiencia y se han establecido por tanto tiempo en la memoria que puede dar la sensación de estar insertos en forma *a priori* en la razón humana; pero no es así, provienen de la capacidad del ser humano para numerar, contar y medir. Es posible definir series y relaciones numéricas con otras características y principios diferentes a la normal, dependiendo de los requerimientos empíricos para modelar matemáticamente un fenómeno dado, pero vale aclarar que en el intento científico por representar de forma lógica y precisa dicho fenómeno, se tiende a no contrariar los principios matemáticos expuestos.

Pues bien, gracias a la matemática el hombre ha alcanzado grandes avances en la medición de atributos, pero esto no ha sido suficiente, se ha requerido además que a través de la historia el ser humano se pregunte por el sentido que tiene declarar dos objetos como iguales en cierto aspecto y por el carácter que debe tener la conexión física entre dos objetos para que se puedan observar en ellos atributos comparables, esto es, ¿porqué observa los atributos a manera de magnitudes y los expresa usando números?

La respuesta lleva a los conceptos de medición cualitativa y cuantitativa, tratados en esta segunda parte, para finalmente dar paso a algunas reflexiones personales sobre la aplicación de estos conceptos a la medición de la innovación en América Latina.

2. Medición cuantitativa y cualitativa

Mediante la experimentación, con el apoyo de la aritmética, el álgebra y la geometría, se hizo posible la comparación empírica de objetos, o atributos de esos objetos, a lo que se llamó magnitudes, y así fue posible establecer cuál era más grande, igual o más pequeña que otra magnitud, cosa que exigió cada vez más precisión en los métodos de comparación. Pero ¿cómo se logra esto?, ¿cuándo, o en qué casos se pueden extender las propiedades matemáticas a otros mundos, como el físico, el económico o el social?

Duhem, al relacionar cantidad y medida, responde a la cuestión: ¿Qué condición requiere un atributo físico para poder ser representado por un símbolo numérico?, utilizando términos aristotélicos: Debe pertenecer a la categoría de cantidad, y no a la de cualidad, es decir, dicho atributo debe ser una *magnitud*. "Cualquier estado de magnitud de una cantidad siempre puede formarse, por adición, por medio de otros estados más pequeños de la misma cantidad; cada cantidad, por medio de una operación conmutativa y asociativa, es la suma de cantidades menores que la primera, pero de la misma especie que ella, que son sus *"partes"*[9].

Esto quiere decir que si se comparan entre sí dos magnitudes A y B de un mismo atributo, se encuentra una noción de igualdad o desigualdad, esto es, puede asegurarse que A es igual a B, o que A es mayor o menor que B. Además, que si se toman varias magnitudes A, B y C y se suman, el resultado es una nueva magnitud S mayor que cualquiera de las tres iniciales, lo que puede expresarse como $S = A+B+C$. Asegura, entonces, que estas dos propiedades empíricas hacen posible extender las herramientas de la matemática al tratamiento de magnitudes.

Dicha extensión aplica también para la multiplicación, poniendo una tras otra varias magnitudes iguales entre sí, se podrá representar la magnitud resultante como $A \times n$, donde n es un número cualquiera. Ahora, si la magnitud A se considera una cantidad *patrón*, entonces todas las magnitudes de esa especie podrán expresarse como un número acompañado de este patrón elegido. De esta forma, la longitud $S = A+B+C$ podrá expresarse en términos de la magnitud patrón y esta igualdad simbólica podrá ser reemplazada por una igualdad aritmética $s= a+b+c$.

9 Duhem, p. 142.

Mediante esta operación es posible medir una magnitud y "... definirla plenamente por medio de la reunión de un número entero, fraccionario o inconmensurable y de un *patrón*. Esa asociación se conoce con el nombre de número concreto"[10].

En síntesis, el valor de una magnitud se expresa mediante números siguiendo un procedimiento de medición cuantitativa, comportamiento que es análogo para los atributos físicos que son magnitudes, es decir, que pertenecen a la categoría de cantidad (por ejemplo longitudes, superficies, volúmenes, ángulos, tiempos, etcétera).

Bueno, pero existen atributos que no cumplen esta lógica, ¿qué tratamiento matemático darles y cómo medirlos? Afirma Duhem que aunque la aritmética y el álgebra se ajustan muy bien a la medición de atributos físicos que pueden ser categorizados como cantidades, no sucede lo mismo a la hora de medir atributos que estén en la categoría de cualidades (todo atributo que no pertenece a la categoría de cantidad pertenece a la categoría de cualidad). Cualidades como tener buena salud, ser inteligente, ser fuerte o ser virtuoso en una determinada cualidad no son susceptibles de sumarse, restarse, multiplicarse o dividirse, tal como lo concebimos en el álgebra, pero sí se les puede asignar una intensidad de tal forma que, estableciendo una relación entre las diversas intensidades de una determinada cualidad, puede compararse un aumento de intensidad o una disminución de la misma, cosa que permite una analogía entre cantidades y cualidades.

Argumenta, además, que una gran cantidad se puede obtener de otras cantidades más pequeñas, pero no ocurre lo mismo con las cualidades; es decir, una cierta clase de cualidad con una determinada intensidad no es de ningún modo el resultado de sumar varias cualidades de la misma clase y de intensidad menor, de modo que de la cualidad no se puede tomar la medida que surge de la noción de suma. Sin embargo, asegura que el carácter puramente cualitativo de una noción no impide que los números

10 *Ibíd.*, p. 142.

se utilicen para representar diversos estados. Esto es, para una misma cualidad pueden presentarse una amplia gama de intensidades distintas que pueden fijarse y numerarse poniendo el mismo número cuando la misma cualidad se presenta con la misma intensidad y marcando con un segundo número más elevado el caso en que la cualidad considerada sea más intensa.

Es por eso que a una cualidad, por ejemplo lo caliente, en aras de su medición, se le considere de una forma más algebraica, por medio de un símbolo numérico, en este caso la temperatura. Así se pueden relacionar distintas intensidades entre sí y representar las relaciones mutuas de los números que significan los distintos estados de magnitud de una misma cantidad. Esto significa que para la medición cualitativa también es determinante el conocimiento concreto de un "patrón de medida" que represente la unidad y que permita por comparación conocer la escala de intensidad de una cualidad.

Por lo tanto, es necesario que ciertas circunstancias concretas hayan sido traducidas a números por medio de la medición para que un matemático pueda introducirlas en alguna fórmula, esto es, habrá que recurrir a métodos de medición para hacer que a un número matemático corresponda un hecho concreto observable que dé cuenta de una cualidad. Carnap [10] explica que «los métodos subjetivos para establecer las relaciones "igualmente caliente" (I) y "menos caliente" (L) son muy poco útiles en la búsqueda empírica de leyes generales. Se necesita un método más preciso que nuestras sensaciones y acerca del cual puedan ponerse habitualmente de acuerdo personas diferentes. El termómetro nos brinda tal método»[11].

En el mismo sentido, Duhem considera que así como una magnitud no se define simplemente por un número abstracto, sino por un número unido al conocimiento concreto de un patrón, tampoco la intensidad de una cualidad está totalmente representada por

11 Carnap, R. *Fundamentación lógica de la física*. Buenos Aires : Suramericana, 1969, cap. V, p. 78.

un símbolo numérico, a ese símbolo hay que añadirle un procedimiento concreto que permita obtener la escala de esas intensidades. Solamente el conocimiento de esa escala permite dar un sentido físico a las proposiciones algebraicas que se refieren a los números que representan las distintas intensidades de la cualidad estudiada.

Ahora, entre una amplia gama de cualidades percibidas por el hombre, existen unas que son más básicas y con las cuales se pueden caracterizar otras cualidades más complejas. A estas cualidades Duhem las llama "cualidades primeras", aquellas que son aceptadas tal y como nuestros medios de observación las dan a conocer; para razonar sobre ellas se les atribuyen símbolos matemáticos que permiten utilizar el lenguaje del álgebra y se consideran irreductibles, por lo menos temporalmente mientras la disciplina científica en cuestión avance lo suficiente para destronarla de esa posición.

Por economía intelectual, al construirse una teoría, se deben utilizar el menor número posible de nociones que se consideran básicas o "primeras" y de cualidades que se consideran simples. Anota Duhem que para identificar una nueva de estas cualidades es necesario buscar entre un grupo de leyes que parecen manifestar una nueva propiedad que dicha propiedad no es una combinación de cualidades conocidas y aceptadas en otras teorías reconocidas. En definitiva, una "cualidad simple" o una "propiedad primera" es aquella que ha sido imposible descomponer en otras cualidades, así sea provisionalmente, ya que en el futuro se podría encontrar que no lo es.

En síntesis, puede asegurarse que los métodos de medición son el vocabulario que posibilita la traducción entre un valor numérico y una indicación formulada en el lenguaje de la experiencia[12]; es decir, que gracias a la observación de unas cualidades básicas sobre las que se construye una teoría, a la elección de un patrón y a la medición (cuantitativa o cualitativa), es posible ex-

12 Duhem, p. 175.

tender las propiedades matemáticas al tratamiento de atributos físicos, sean cantidades expresadas en forma de magnitudes o sean cualidades expresadas en forma de escalas de intensidades.

Además de los fundamentos expuestos hasta ahora, debe mencionarse que hoy día el concepto de medición ha sido fuertemente influenciado por la Teoría Representacional originada por los trabajos de Stanley Smith Stevens [11] en la década de los 30 del pasado siglo y que desde inicios de los años 40 viene dando soporte a numerosos laboratorios e investigaciones en los países desarrollados, tal vez porque la similitud entre sus fundamentos filosóficos y los del empirismo lógico de los miembros y herederos del Círculo de Viena le han dado gran fuerza y legitimidad.

Al paso del tiempo ha sido ampliamente aceptada en áreas donde es común utilizar métodos gradientes como psicología (sociología, sociopsicología y mercadeo), metrología y economía y en el trabajo de teóricos y filósofos de la medición como P. Suppes, J. Zinnes y R. Luce [12]. La teoría expuesta por estos tres autores, conocida como la teoría de la medición axiomatizada (*the axiomatized measurement theory*), rompe con la concepción tradicional, argumentando que la medición no es únicamente un prerrequisito para la teorización científica; al contrario, la medición es una parte integral de la teoría y la experimentación.

Para esta teoría la estructura empírica y su representación no constituyen el único aspecto importante de la medición, lo realmente crucial es garantizar la unicidad o singularidad de la representación en cuestión y garantizar que la forma de las escalas de medición permanezca invariante a pesar de las transformaciones matemáticas que se hagan. Medir no es buscar el número que representa la cantidad de magnitud presente en un objeto; es asignar números a los objetos según cierta regla, de manera que los números asignados en la medición, no representan propiamente cantidades, sino relaciones; esto quiere decir que medir implica traducir la información que contiene el sistema empírico al marco del sistema relacional numérico mediante una aplicación u homoformismo. Estos avances permitieron mejorar la concepción de la medición en las ciencias sociales, basándose en los mismos criterios de las ciencias naturales[13].

Surge ahora la cuestión, ¿qué aplicación tienen estos fundamentos para la medición de la innovación en América Latina?

3. Aplicación de estos conceptos a la medición de la innovación en América Latina

La medición de la innovación es un asunto estratégico, "esto obliga a reflexionar acerca de cuáles son las formas más adecuadas que deben asumir los ejercicios de medición y hasta qué punto es pertinente el empleo de procedimientos y criterios (como los sugeridos en el Manual de Oslo) cuyo diseño responde a experiencias surgidas de realidades no necesariamente, o al menos no totalmente asimilables a las de dicha región"[14]. Una herramienta útil para América Latina en este sentido debe medir la conducta tecnológica de las firmas, la magnitud y características de los procesos innovativos y obtener evidencias acerca de los senderos de desarrollo que los inducen.

Para que un país pueda compararse internacionalmente, con otro de su región o por fuera de ella, requiere de la medición cuantitativa de indicadores como, por ejemplo, el de Gasto en I+D; el número de innovaciones logradas en el sentido estricto de la palabra; el número de publicaciones indexadas, entre muchos otros. En este caso las firmas y los países de América Latina requerirán numerar, contar y medir ceñidos a las magnitudes y las operaciones matemáticas que con base en la experiencia han definido los países de la OCDE, sólo así podrán saber si están por debajo, en igual medida o por encima de otras sociedades en ciertos aspectos relacionados con la innovación.

---

13 Leplège, Alain. Epistemology of measurement in social sciences: historical and contemporary perspectives. Social Science Information, Vol. 42, No. 4, SAGE Publications, 2003.

14 *Manual de Bogotá*, p. 25.

La medición de esas magnitudes deben hacerse y ponerse a disposición de la Comunidad Internacional para que establezca comparaciones; pero, cuidado, el trabajo no termina ahí, algunas cifras comparativas podrán no ser muy útiles para determinar la calidad y la celeridad del cambio técnico en un territorio determinado; por ejemplo, la comparación del Gasto en I+D entre países desarrollados y países como los de América Latina a veces no es muy útil a la hora de determinar si se están generando mejoras incrementales o no en una economía determinada.

Con respecto a la medición cualitativa, el *Manual de Bogotá* se propone captar los rasgos idiosincrásicos que adoptan los procesos innovativos de la región, buscando obtener criterios y elementos de juicio para orientar las acciones públicas y privadas en la materia. Ahora, por ser un proceso de medición relativamente nuevo, mediante el cual se pretenden medir y comparar cualidades propias de las empresas de la región, hay un trabajo por hacer: se requiere establecer una escala de intensidades de una misma cualidad empresarial para poder representarlas por medio de símbolos numéricos de manera que los números asignados en la medición, no representen propiamente cantidades, sino relaciones, solo así las cifras obtenidas tendrán un sentido económico y social, lo que hace de la medición cualitativa una parte fundamental para la teorización científica en torno a la innovación en América Latina.

En este sentido, acertadamente el *Manual de Bogotá* asume dos bases conceptuales que marcan muy significativamente el patrón de medición de la innovación en el mundo:

- *Subject approach* (enfoque de sujeto): implica la adopción de una perspectiva claramente evolucionista buscando entender el proceso innovativo de la firma y no mirar solo innovaciones notables aisladamente del desarrollo de la misma.
- *Chain link* (eslabonamiento en cadena): implica considerar la innovación en su interacción con la totalidad el proceso de producción que aparece como una actividad de

> resolución de problemas emergentes a lo largo de la cadena de producción, basada en el permanente *feedback* entre los componentes de la firma y en la interacción entre las oportunidades de mercado y las capacidades de la misma[15].

Esto implica, definitivamente, que todo investigador que se dedique a la medición y análisis de la innovación debe asimilar con profundidad el significado de este enfoque que da pautas tanto para la definición de innovación como para los patrones de medición por adoptar. El enfoque de sujeto y el eslabonamiento en cadena pueden entenderse como dos cualidades básicas sobre las que se construye la teoría evolucionista del cambio técnico[16] y es claro, entonces, que los sistemas de medición deben estar permeados por estas discusiones a fin de lograr un adecuado seguimiento de los complejos procesos sociales, ya que allí subyacen varias reflexiones de tipo filosófico que deben sustentar el ejercicio mismo de la medición.

Surge entonces un problema para los investigadores, ¿cómo orientar adecuadamente la medición de tal forma que se consiga información útil para los países de América Latina sin detrimento de la comparabilidad internacional global? Aunque el *Manual de Bogotá* ofrece un modelo de medición rigurosamente logrado, debe admitirse que la respuesta a esta cuestión no se tiene y que será sólo a partir de la experiencia, de la realización de encuestas y su análisis, además de un ejercicio permanente de comparación, como se llegará a ella; será entonces cuando un modelo matemático dará sentido a las cifras obtenidas.

Por lo tanto, quienes estén involucrados en el arduo trabajo de medir la innovación con la esperanza de orientar adecuadamente las políticas públicas e impactar positivamente el desarrollo socio-

---

15 *Ibíd.*, p. 33.

16 Aquí se hace referencia a la teoría que asume una concepción evolutiva del desarrollo económico basada en la innovación técnica, liderada por Paul David, Richard Nelson y Sydney G. Winter a partir de la década de los setenta del siglo XX.

económico de América Latina, deben concientizarse de la fase experimental que se aboca y no esperar "milagros" a corto plazo, sino que, por el contrario, deben enfrentar lo más pronto posible y con toda la rigurosidad estas mediciones a fin de pulir los instrumentos y metodologías de medición, ajustar un modelo matemático para la aplicación del Manual de Bogotá y, lo más importante, contar cada vez con más y mejores investigadores, bien fundamentados, con visión aguda, capaces de medir la actividad innovadora, competentes para un acercamiento consciente a los datos extraídos (o por extraer) y con la autoridad cognitiva para dicho trabajo.

Referencias bibliográficas

[1] Jaramillo, Hernán; Lugones, Gustavo y Salazar, Mónica. Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe. Manual de Bogotá. Agosto de 2000.

[2] Duhem, Pierre. La teoría física su objeto y su estructura, Herder 1906.

[3] Von Helmholtz, Hermann. Numbering and Measuring from an epistemological viewpoin, Leipzig, Fues'Verlag, 1887.

[4] Kant. Crítica de la razón pura, ed. P. Rivas. Madrid : Alfaguara, 1978.

[5] Grassmann, Herman. *Die Ausdehnungslehre* [The theory of extensión], 1ª. Ed., Leipzing, 1844 y 2ª Ed., 1878. Grassmann, Robert, *Die Formenlehre order Mathematik,* [The theory of forms or mathematics], Stettin, 1872.

[6] James R., Newman. SIGMA: El mundo de las matemáticas, tomo 4. Barcelona : Grijalbo Mondadori S.A., 1997.

[7] Schröder, E. *Lehrbuch der Arithmetik und Algebra* [Textbook of arithmetic and algebra], Leipzig, 1873.

[8] Cantor, G. Contributions to the founding of the theory of transfinite numbers. New York : Dover Publications, 1955 (primera versión en alemán 1895).

[9] Hahn, Hans. El infinito. En: James R., Newman, SIGMA. El mundo de las matemáticas, tomo 4. Barcelona : Grijalbo Mondadori S.A., 1997, pp. 385-401.

[10] Carnap, R. Fundamentación lógica de la física. Buenos Aires : Suramericana, 1969.

[11] STEVENS, STANLEY SMITH. Mathematics, Measurement and Psychophysics, en S.S. Stevens (ed.), Handbook of Experimental Psychology, 1951.

[12] SUPPES, P. Y ZINNES, J. Basic measurement theory. En: R. D. Luce; R. R. Bush y E. Galanter (eds.). Handbook of Mathematical Psychology. Vol. I. New York: Wiley, 1963.

[13] LEPLÈGE, ALAIN. Epistemology of measurement in social sciences: historical and contemporary perspectives. Social Science Information, Vol. 42, No.4, SAGE Publications, 2003.

[14] NELSON, R. R. Y WINTER, S. G. In search of useful theory of innovation, en Research Policy, 6, 1977.

[15] BRONCANO, FERNANDO. Mundos artificiales. Filosofía del cambio técnico. Paidós, 2000.