

# Duración en física clásica\*

*Eduardo Héctor Flichman†*

## 1. Introducción

Para estar en condiciones de comprender el desarrollo de un sistema de unidades en física, resulta indispensable aclarar previamente varios conceptos. Uno de ellos es la noción de *magnitud física* y, en particular, la de *magnitudes físicas fundamentales o primitivas*, pues a partir de las escalas correspondientes se generan las escalas de todas las demás magnitudes, las *magnitudes derivadas*. Las escalas primitivas deben construirse mediante operaciones físicas, para algún rango macroscópico de valores. Posteriormente, mediante métodos indirectos de medición, se extiende el rango de la escala hacia valores mayores y menores. El ejemplo que presentaré en este trabajo será el de la magnitud *duración*. Las magnitudes primitivas dan lugar al desarrollo de un álgebra dimensional que, a su vez, permite fijar las unidades derivadas a partir de las primitivas. Sin embargo, en última instancia, el álgebra dimensional nos da la posibilidad de invertir el juego y elegir unidades derivadas como si fuesen primitivas y viceversa. Es lo mismo que sucede con los axiomas y los teoremas de un sistema axiomático. Pero el comienzo de la construcción debe relacionar las unidades primitivas con las magnitudes primitivas y las unidades derivadas con las magnitudes derivadas.

El problema acerca de cómo establecer y generar tales escalas primitivas suele parecer trivial y sencillo; sin embargo, presenta serias dificultades teóricas, extremadamente interesantes desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia. Aquí no se trata de las sofisticadas escalas usadas actualmente, sino de aquéllas a partir de las cuales se desarrollan posteriormente las que ahora se aplican. No podemos hablar de características temporales de determinados átomos si no comenzamos con algo mucho más elemental: *los procesos repetibles*, a partir de los cuales podremos llegar, luego de sucesivas correcciones y sofisticaciones, a las escalas de duración hoy aceptadas. Existe también otro tipo de correcciones y sofisticaciones que obligan a modificar nociones y operaciones para que concuerden con las nuevas teorías físicas; pero aquí solo nos referiremos a la física clásica, que de por sí ya presenta complicaciones mucho mayores que las que uno podría haber imaginado antes de involucrarse en estos problemas de fundamentación. El aparentemente sencillo planteo empírico-teórico de procesos repetibles presenta dificultades que pueden parecer insalvables y que requieren un profundo análisis, que intentaré realizar aquí.

No deseo que el hecho de mencionar operaciones físicas para diseñar escalas se entienda como una adhesión a la perimida posición operacionalista. Aquí, el tipo de operación no será considerado como definición de la correspondiente magnitud. Pero será el mecanismo operacional, que incluirá en parte convenciones y en parte resultados empíricos, el

† Universidad Nacional de General Sarmiento. Universidad de Buenos Aires.

que permitirá la conexión entre la *magnitud* (propiedad teórica irreductible en tanto tal) y la *operación* que mide las cantidades.

Usaré una metodología constructiva. Los métodos axiomáticos se generan *a posteriori*, y aquí solo deseo aclarar conceptos, que se generan constructivamente. La formalización llega después. Es claro que la limitación en el tiempo solo permitirá que me ocupe de *una* magnitud fundamental y de solo *algunos* de los problemas cuyo estudio concita. Elijo una de aquéllas que aparentemente son las más elementales, que puede servir como modelo para las demás. Se trata de la *duración*.

## 2. Magnitud, cantidad, patrón, unidad y medida

Señalaré una primera distinción válida para cualquier magnitud física: la distinción entre magnitud, cantidad y medida. Las magnitudes físicas son en realidad *propiedades determinables*. Las *propiedades determinadas* que les corresponden son las que denominaré “cantidades físicas”. El intervalo de tiempo entre el instante en que un niño se lanza por un cierto tobogán y el instante en que llega al piso es una cantidad. El lapso *durante* el cual transcurre la vida de una persona determinada es otra. Ambas son *duraciones*. Ambas son *cantidades* correspondientes a una misma magnitud: la *duración*. Debemos distinguir cuidadosamente entre la propiedad: *tener una duración de 5 segundos (la caída por el tobogán)* y la propiedad: *tener duración (la caída por el tobogán)*. O entre *tener una duración de 85 años (la vida de esa persona)* y *tener duración (la vida de esa persona)*. Esa es la relación, *determinado-determinable*, entre cantidad y magnitud. No me involucraré aquí en el problema acerca de la existencia en tanto universales, de esos tipos de propiedades. Para que quede clara intuitivamente la diferencia entre las nociones de *magnitud*, por una parte, y *cantidad*, por la otra, podemos retornar a nuestro ejemplo de la caída en el tobogán: dicha caída tiene la propiedad de *tener duración* o, simplemente, *durar*. Esa propiedad de la caída es una magnitud física. Pero la caída también tiene la propiedad de *tener una duración de cinco segundos*. Esa propiedad de la caída es una cantidad física. La caída es un proceso, una sucesión de hechos o estados de cosas. La duración y la cantidad son universales, propiedades de dicho proceso.

La *medición* corresponde a otro concepto. Para estar en condiciones de aclararlo, debemos comprender lo que es la comparación de procesos físicos en cuanto a sus duraciones.<sup>1</sup> Para ello debemos trabajar con ciertos procesos especiales que denominaré “procesos repetibles”. El proceso repetible cumple para la medición de duraciones el mismo rol que cumplen las varas rígidas para la medición de longitudes. Entenderemos de manera intuitiva y provisoria la noción de “proceso(s) repetible(s)” (desde ahora, “*p.r.*”). Diremos que un proceso es repetible cuando, una vez determinado el proceso, podemos iniciarlo y finalizarlo bajo las mismas condiciones, tantas veces como queramos, dentro de ciertos límites de precisión. Por ejemplo, podemos repetir el proceso de caída en el tobogán tantas veces como queramos, manteniendo las condiciones sin cambio (el mismo lugar, el mismo tobogán, el mismo niño, la misma manera de deslizarse, etc., dentro de ciertos límites de precisión). Ahora bien, para estar en condiciones de hablar de medición, necesitamos todavía de tres nuevos conceptos: *patrón, unidad y medida*.

Elegiremos un *p.r. a*, como *p.r. patrón básico*, de modo tal que podamos encontrar una manera de fundamentar que otros *p.r.* tengan la misma cantidad, la misma duración. Todos esos otros *p.r.* serán considerados *patrones derivados*. Un modo de fijar la cantidad que denominaremos "unidad" de duración será definirla como la cantidad correspondiente al *p.r.* patrón básico. Hay otros modos, mediante los cuales la unidad no coincide con la cantidad correspondiente al patrón, pero no discutiremos aquí ese caso más general.

Pues bien, ¿cómo hacemos para mostrar empíricamente que un *p.r.* tiene la misma duración que otro *p.r.*? Para ello ambos procesos deberán comenzar *juntos* y terminar *juntos*. La coincidencia espaciotemporal o el hecho de *estar juntos* es una noción primitiva, comprensible sin necesidad de haber desarrollado previamente las nociones de duración y longitud. Puedo suponer un tobogán y un plano inclinado, tales que una bola en la parte superior del plano inclinado y un niño en la parte superior del tobogán comienzan la caída *juntos* y al terminar ambos procesos llegan *juntos* a la parte inferior del tobogán y el plano inclinado, respectivamente. No es necesario que niño y bola estén siempre juntos durante la caída. Si es necesario que estén juntos al comenzar cada uno de ambos *p.r.* y al terminar los mismos. Si ello ocurre diremos que ambos *p.r.*, independientemente de que uno de ellos sea el patrón básico o no, tienen la misma duración.

(Está claro que se vuelve necesario tomar las nociones *estar juntos* (coincidencia espaciotemporal), *comienzo de un p.r.* y *fin de un p.r.*, así como la misma noción de *proceso*, necesaria para aplicarle el universal *duración*, como nociones primitivas, independientes del desarrollo de las nociones de *duración* y *longitud*. La noción de *proceso*, necesaria para aplicarle la noción de *duración* es tan primitiva como la noción de *cuerpo*, necesaria para aplicarle el universal *longitud*.)

Resulta así que, como resultado de la definición de "patrón derivado" y de "unidad", todo proceso repetible patrón, sea patrón básico o derivado, tendrá una duración igual a la unidad. Con otras palabras, la cantidad física (duración) de todo proceso repetible patrón es de una unidad. Nos queda por aclarar la noción de *medida*.

La medida de la duración de un proceso es el resultado de comparar la cantidad o duración correspondiente a ese proceso y la duración correspondiente a un *p.r.* patrón. La operación de comparación es compleja y la esbozaremos enseguida. El resultado, es decir la medida de la duración del proceso con respecto a la unidad es un número puro. Lo que de inmediato podemos saber es que todos los procesos patrón, tanto el básico como los derivados, tienen medida 1 respecto de la unidad fijada por ellos mismos. A partir de aquí, podemos ver que no importa más distinguir patrón básico de patrón derivado.

### 3. Escala y medición

Para estar en condiciones de medir la duración de procesos no basta el conocimiento de la unidad. Necesitamos *p.r.* que sean múltiplos y submúltiplos de la unidad para poder generar una escala de duraciones.

En primer lugar, se requiere generar un *p.r.* a partir del concatenamiento de dos patrones. Comenzará cuando comienza uno de ellos. El otro comenzará *junto a* la terminación del primero. El proceso terminará con la terminación del segundo. Por ejemplo, colocamos el plano inclinado para proceso patrón y el tobogán para proceso patrón, uno a continuación

del otro, de manera que cuando la bola llega al final de su recorrido, se encuentra *junto al* niño, el que comienza a caer por el tobogán. El *p.r.* que comienza con el lanzamiento de la bola y termina con la llegada del niño al piso es el proceso *doble*, de medida 2. Del mismo modo se generan *p.r.* de medida 3, 4, etc. Los submúltiplos se obtienen buscando *p.r.* de igual medida entre sí que, concatenados del modo descrito, coincidan en comienzo y fin con el *p.r.* patrón.

Ya podemos generar la escala más primitiva (el reloj más primitivo) para medir duraciones. Será un *p.r.* graduado a partir de la concatenación de *p.r.* (cadena de *p.r.*). Sea un proceso cualquiera, no necesariamente repetible, cuya duración deseamos medir. Bastará que comience *junto* a nuestro *p.r.* concatenado. Y que termine *junto* a la graduación que corresponda a la finalización de algún eslabón de la cadena, que nos indicará la medida de la duración del proceso, con respecto a la unidad usada. Cualquier dificultad se resolverá de modo práctico. Pero la cuestión teórica en ese respecto parece estar saldada.

#### 4. ¿Qué es un proceso repetible?

Intentaremos ahora precisar la noción de *p.r.*. ¿Qué es un *p.r.* (ideal)? En primer lugar se dirá seguramente que es un proceso que no modifica su duración cada vez que se repite. El problema que se plantea inmediatamente es que hemos elegido el *p.r.* para establecer una escala de duraciones, pero la noción misma de *p.r.* necesita como noción previa la de *duración*. La circularidad es clara. Construir una escala de duraciones requiere saber previamente qué es un *p.r.*, pero saberlo requiere a su vez tener previamente una escala de duraciones.

No tenemos más remedio que retroceder del concepto de *p.r. absoluto* al de *p.r. respecto de otro*, es decir, al de *p.r. relativo*. Intentaremos precisar esta última noción.

Diremos provisoriamente que un proceso es repetible respecto de otro de igual duración, cuando siempre que estén *juntos* al comenzar, se encontrarán *juntos* al terminar. En una primera aproximación, esto nos permitirá poner a prueba la existencia de cohortes de procesos repetibles entre sí. Aparecen más dificultades.

##### 4.1. Primera dificultad

En primer lugar, el hecho de que condiciones externas, por ejemplo, la temperatura, pueden hacer variar la relación. No existen sistemas materiales en los que ocurren los procesos, que mantengan las condiciones de repetibilidad relativa mutua frente a condiciones externas diferentes o aun frente a iguales cambios de condiciones externas (un plano inclinado metálico y otro de madera dejarán de ser mutuamente repetibles aunque las dos cambien su temperatura del mismo modo). Habrá que fijar las condiciones externas. Pero resulta que en muchos casos el conocimiento de las condiciones externas requiere del conocimiento previo de la duración. Por ejemplo, una escala de presión atmosférica requiere de la noción previa de duración para poder conocer el retraso de la indicación del barómetro respecto de los cambios de presión (a veces nunca se llega al equilibrio porque la presión continúa cambiando).

La solución a los problemas recién señalados se plantea de modo de aproximaciones sucesivas. Las nociones intuitivas previas de escalas barométricas, etc., nos permiten realizar evaluaciones aproximadas de la repetibilidad relativa. La repetibilidad así obtenida (pues se

obtienen cohortes repetibles entre sí, dentro de ciertos límites) se usa para generar escalas barométricas, etc. Estas, más precisas que las previamente intuitivas, se usan para mejorar la puesta a prueba de las cohortes repetibles entre sí. Y las nuevas cohortes más precisas se usan a su vez para mejorar las otras escalas, y así sucesivamente. Si este proceso converge, el criterio funciona bien. Y de hecho converge. Es un resultado empírico.

#### 4.2. Otra dificultad

Para estar en condiciones de decir que un proceso es repetible respecto de otro de igual duración no basta con la caracterización antes señalada. No es suficiente que ambos procesos comiencen y terminen *juntos*. Los submúltiplos también deben coincidir. Cada eslabón de la cadena de submúltiplos de uno de los procesos debe coincidir con el eslabón correspondiente de la cadena de submúltiplos del otro proceso, cuando se repiten ambos procesos. De modo que debemos agregar, que ambos procesos deben coincidir en el comienzo y fin de cada eslabón, por pequeño que éste sea. Es decir, deberán coincidir, estar *juntos*, a lo largo de todo el proceso.

#### 5. ¿Hay solo una cohorte? Pistas ontológicas

Queda un problema que permite a un filósofo realista hacer algunas consideraciones ontológicas muy interesantes. Podríamos suponer que encontramos más de una cohorte de *p.r.* entre sí (supongamos dos cohortes) tales que los procesos de una cohorte no son repetibles respecto de los procesos de la otra. Por ejemplo, vistos desde una cohorte, los procesos de la otra estarían durando cada vez más, serían cada vez más lentos. En cambio, vistos los procesos de la primera cohorte desde la segunda, ocurriría la situación inversa: se verían los procesos de la primera como durando cada vez menos, es decir, serían cada vez más rápidos.

El caso es que solo encontramos una cohorte de procesos repetibles entre sí. Un filósofo realista sacará como conclusión, que ello le da una pista ontológica de la existencia de las cantidades ligadas a la duración, como propiedades teóricas. El resultado, la existencia de una sola cohorte, es empírico. Desaparece la sola convención.

Lo mismo ocurre cuando estudiamos la manera de obtener la escala de duraciones, a que nos referimos más arriba. La existencia de una sola cohorte, así como ciertos otros resultados empíricos, no convencionales, como por ejemplo la aditividad de la escala de duraciones así obtenida, nos hace pensar nuevamente en la existencia, en sentido ontológico, de las cantidades ligadas a la duración, como propiedades teóricas de los cuerpos físicos. La aditividad consiste en que la medida de la suma física de las duraciones de dos procesos repetibles es igual a la suma matemática de sus respectivas medidas. Esto es resultado del mecanismo de generación de la escala. Pero no siempre los mecanismos de generación de escalas permiten ese resultado. Por ejemplo, ello no ocurre en el caso de la temperatura del termómetro de mercurio. Y por lo tanto, el *status* de dicha temperatura no le permite una contrapartida ontológica como sí lo permite el de la escala de longitudes.

Un filósofo convencionalista dirá que se pueden describir los fenómenos a partir de otras bases y que el hecho de que los resultados sean los mismos muestra que no se pueden hacer conjeturas ontológicas teóricas. Por ejemplo, dirá que podríamos tomar un proceso no repetible respecto de la cohorte de procesos repetibles entre sí, y considerarlo como el *p.r.* patrón. Por ejemplo, el pulso del Dalai Lama, ejemplo usado por Rudolf Carnap. En ese

caso, tendríamos un mundo que se acelera en la medida que el pulso del Dalai Lama disminuye su ritmo y que se frena cada vez que el Dalai Lama inicia una taquicardia. Pero las predicciones serían en cualquier caso igualmente adecuadas, al menos durante la vida del Dalai Lama. Mi respuesta como filósofo realista es que es fundamental la capacidad de explicación que tiene la cohorte de *p.r.*, que no la tiene el pulso del Dalai Lama tomado como patrón. La aceleración y el frenado del mundo no tendrían explicación alguna. En cambio, sería explicable por qué cambia el pulso del Dalai Lama si elegimos como base la cohorte de *p.r.* Al filósofo convencionalista, tanto como al instrumentalista, les importa menos explicar. Les importa más predecir. No veo la manera de convencerlos de las ventajas de la explicación.

Dejo de lado muchos otros problemas que se plantean, como por ejemplo la relación entre duración, por una parte (extensividad) y posición temporal, por la otra (intensividad). Quedará para alguna otra presentación.

### Notas

\* Este trabajo ha sido realizado en el marco de dos proyectos de investigación dirigidos por el autor, de la U.N. de Gral. Sarmiento y de la UBA.

<sup>1</sup> El contexto mostrará claramente que en general, cuando me refiero a "duración (duraciones)", se trata de cantidad(es), no de magnitud.

### Bibliografía

- Carnap, R. (1966), *Philosophical Foundations of Physics*. Nueva York: Basic Books, 1a. ed. [Hay ediciones posteriores. *Introduction to the Philosophy of Science*. Hay traducción al castellano, varias ediciones: *Fundamentos Lógicos de la Física*.]
- Ellis, B. (1966), *Basic Concepts of Measurement*. Cambridge at the University Press (U. K.)
- Hempel, C. (1952), "Fundamentals of concept formation in empirical science", in *The International Encyclopaedia of Unified Science*, 2 (No. 7). Chicago. University of Chicago Press.
- Krantz, D. H.; Luce, R. D.; Suppes, P., y Tversky, A. (1971), *Foundations of Measurement, Vol. I: Additive and Polynomial Representations*. Nueva York - Londres: Academic Press.