

---

# EL ESQUEMA DE LOS TRES ESPACIOS COMO BASE PARA GENERAR LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL DE UNA TEORÍA FÍSICA<sup>1</sup>

---

*Marta Massa*  
*Walter Mulhall*  
Facultad de Ciencias Exactas,  
Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario  
Rosario – Argentina

*El denominado ESQUEMA DE LOS TRES ESPACIOS que se desarrolla en este trabajo encara el proceso de configuración de una teoría física trabajando sobre tres áreas: ESPACIO DE LOS HECHOS OBSERVABLES – ESPACIO CONCEPTUAL – ESPACIO FORMAL.*

*Un buen conocimiento de este proceso permite orientar las actividades para el desarrollo de la abstracción, la representación y las operaciones que caracterizan el pensamiento científico.*

## **I. Introducción**

Uno de los ejes básicos a considerar en la formación del profesor de Física está constituido por la relación que debe establecer con esta ciencia. En ese marco, se configura lo que Halbwachs<sup>(1)</sup> denomina la “Física del Profesor”, que define y orienta su acción en el aula.

Es hoy incuestionable concebir al profesor como un sujeto que, además de conocer profunda y actualizadamente su disciplina sabe como administrarla. Ambos aspectos son fundamentales. El primero, para garantizar la calidad del conocimiento y, el segundo, para evitar que el mismo se presente como acabado, repetitivo y, por lo tanto, cerrado.

Esto requiere contar con un docente clarificado del enclave epistemológico de los conceptos físicos que transmite, que lleve al alumno hacia la necesidad del formalismo matemático como expresión operativa de los mismos

---

<sup>1</sup> Trabajo presentado en la V Reunión Latinoamericana sobre Educación en Física, Porto Alegre (Gramado). Brasil, 24 a 28 de agosto de 1992.

<sup>1</sup> Artículo revisado por Philippe Humblé (Depto. de Língua e Literatura Estrangeiras -UFSC)

y hacia la elaboración de la noción de “modelo” como representación de las situaciones físicas que demandan explicación e interpretación.

En el aspecto administrativo, la formación del docente debe tender a la preparación para el desarrollo de las capacidades internas de los estudiantes que le permitan aprehender, estructurar la realidad a través del pensamiento y el lenguaje en última relación. Ello requiere trabajar las relaciones e, inclusive, las relaciones de relaciones, conformando un modelo que permita operar transformaciones y representaciones de los sistemas concretos. Este es el marco en que la Psicología Cognitiva provee información para la construcción del conocimiento desde la perspectiva y con las posibilidades del alumno.

Entendemos que la capacidad de construir modelos físicos y de manejar las transformaciones de las relaciones dentro del marco de estos modelos – proceso en el cual se configura la teoría que provee el marco explicativo e interpretativo – se desarrolla en el proceso de aprendizaje de la disciplina. Ello requiere que la metodología con que se desarrollan los cursos de Física para la formación de profesores, atiendan al conocimiento de la disciplina como proceso y como producto, en una actividad de permanente re-creación, construcción, aplicación, confrontación, donde se hace necesario aceptar la existencia de soluciones alternativas, diferentes interpretaciones y conjeturas y la necesidad de operar con conceptos límites.

La construcción del conocimiento supone no sólo la organización de una red conceptual de informaciones y relaciones que lleva hacia un pensamiento científico, sino la vivencia de toda la problemática de la estructuración del mismo y del desarrollo del lenguaje coloquial y formal.

La Historia y la Epistemología de la Física, la Psicología Cognitiva, la Lingüística, proveen el marco referencial para la organización de un aprendizaje de la Física y su correlación con el campo de la Matemática.

Investigaciones que se han realizado en el seno de este grupo<sup>(2)</sup> con profesores de Física en Argentina revelan que, frecuentemente, el docente carece de un claro conocimiento del proceso de construcción de modelos y de la configuración de una teoría, a pesar de estar operando permanentemente en ese marco en el proceso de construir conocimiento físico. El presente trabajo se asienta en la suposición que esta influye poderosamente en los criterios, métodos y valoraciones con que se desenvuelven los aprendizajes.

EL ESQUEMA DE LOS TRES ESPACIOS – se presenta como un referencial para el análisis del proceso de construcción de una teoría física. El mismo ha sido estructurado teniendo en cuenta los elementos, criterios y relaciones con que dos físicos han ido configurando la ciencia como construcción humana, con dos operaciones básicas:

a) una puramente creadora, en la cual el hombre fabrica o modeliza una realidad; e

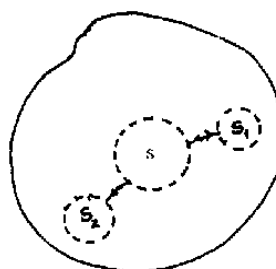
b) otra, confrontadora, en la cual compara los hechos efectivos con su construcción imaginada.

Permite, además, atender al proceso de formación de conceptos y de representaciones en correlación con los hechos concretos, así como a las reestructuraciones conceptuales que devienen en la organización del pensamiento científico.

## II. La construcción de un modelo

Un evento, un proceso, determinado comportamiento detectado en el Universo físico por el científico se constituye en el elemento motor para la búsqueda racional de conocimiento. Dada la amplia y compleja gama de relaciones en que se desenvuelve dicho fenómeno, el sujeto adapta una primera actitud científica: aislar mentalmente su objeto de estudio. Esto obedece, básicamente, a la necesidad de precisar su **sistema de estudio**<sup>(9)</sup>. Surge así, en el espacio de los hechos observables, la distinción entre un sistema dentro del medio ambiente en relación con otros sistemas, con las múltiples interacciones que los vinculan.

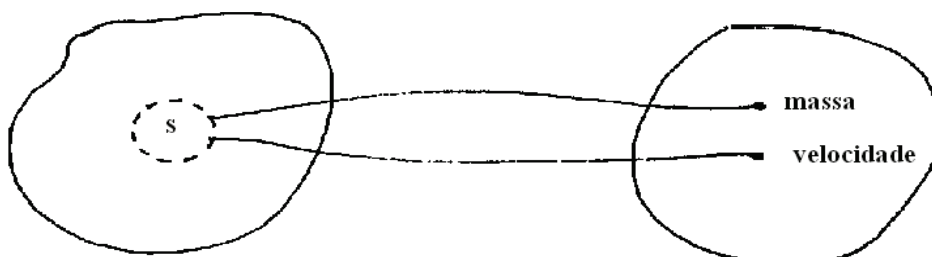
Espacio de los hechos observables (E.O)



La necesidad de definir el sistema hace que el científico establezca sus propiedades. Entre ellas seleccionará aquéllas que, como hipótesis de trabajo, considero relevantes en relación con la problemática que intenta abordar. Vincula a estos atributos o propiedades del sistema, algunos conceptos (entes teóricos) que los definen. Establece una correspondencia biunívoca entre el espacio de los atributos y el de los conceptos.

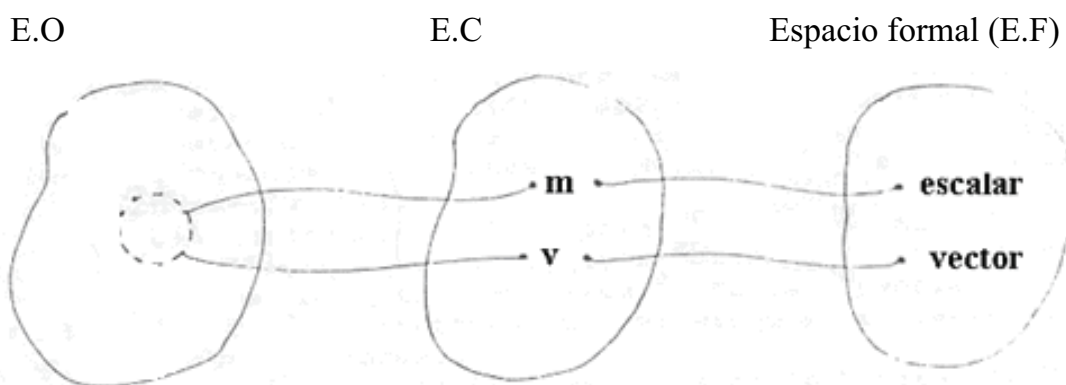
E.O

Espacio de los conceptos (E.C)



La definición de tales conceptos es ya un proceso creativo. Es el científico quien caracteriza al atributo con determinada definición. El ente físico en sí es independiente de cómo se lo llame o entite. (Por ejemplo, la radiación eletromagnética como tal tiene una naturaleza independiente de las definiciones que sobre ella se haga. La caracterización y distinción por su longitud de onda es sólo un intento conceptual del estudioso para poder operar racionalmente sobre ella). Las correspondencias establecidas funcionan como **principios puentes** entre ambos espacios, es decidir, relacionan los elementos abstractos (conceptos, principios) con los fenómenos empíricos<sup>(4)</sup>. El significado del concepto, así como el criterio para establecer los principios puentes comienza a configurar el contexto de la teoría. Permite comenzar a generar en el sujeto una representación mental: un modelo.

La definición debe ser operativa. Para ello formula una nueva correspondencia, pero en esta instancia se plantea entre el espacio de los conceptos y el de los entes representativos o espacio formal.



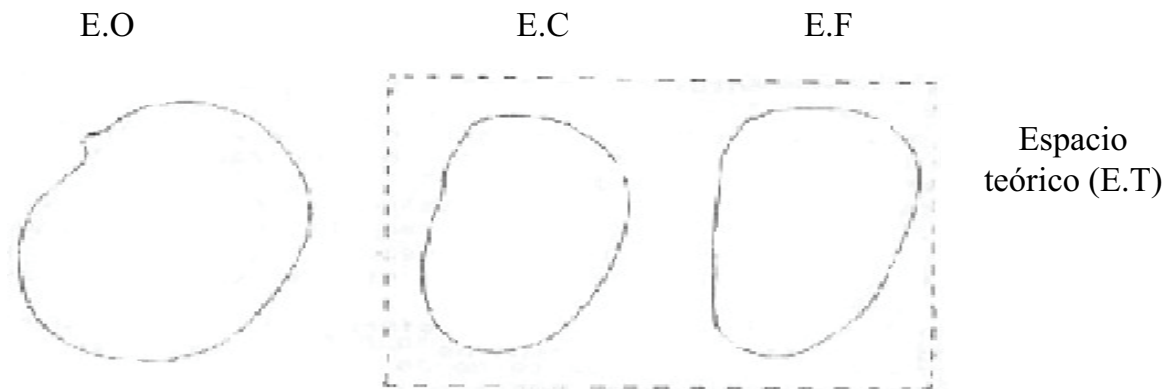
Es decir, a cada uno de los conceptos se le hace corresponder, mediante nuevos principios puentes, un cierto ente matemático que lo representa. Estos principios puentes definen el marco de la estructura teórica que se está construyendo.

Esta correspondencia, no sólo introduce al ente matemático sino que, conjuntamente, incorpora la estructura matemática correspondiente. Es decir, si la representación es un vector; queda incorporada en la teoría, el Álgebra y el Análisis Vectorial. Las operaciones propias de la estructura formal pasan a funcionar como **principios internos** de la teoría. Por tales se entienden "las entidades y procesos básicos invocados por la teoría y las leyes a las que se supone que se ajusten"<sup>(4)</sup>

Se completa el concepto estableciendo los mecanismos de medición que permitirán asociarle al atributo un valor numérico. La propiedad alcanza,

entonces, la categoría de **observable físico**. Este grado de abstracción permite trabajar sobre el espacio de los hechos observacionales a nivel de las mediciones.

El plano teórico queda, entonces, configurado conteniendo concepto y formalismo.



El sistema se caracteriza, desde ahora, por un conjunto de observables **relevantes**, en relación con el hecho que interesa, y **completo** en el sentido que se considera que provee la máxima información del mismo. La medición de estos observables en un instante determinado define el estado del sistema.

El conjunto de hechos observacionales asociados con el sistema se va acumulando en forma sistemática. El científico no procede a ciegas. Ordena y clasifica sobre la base de sus propias conjeturas o bien con criterios que si la experiencia de la ciencia, de los múltiples procesos de prueba y error" en ella vividos. Ordena y clasifica a los efectos de detectar irregularidades. Las representaciones gráficas generadas con base formal y aplicada a lo empírico, juegan un rol decisivo en cuanto proveen criterios para establecer posibles proporcionalidades, determinar dependencia de parámetros, enunciar relaciones matemáticas entre las variables presentadas.

Estas relaciones sirven de base para la formulación de **leyes empíricas**. Ellas contienen términos directamente detectables por los sentidos o medibles mediante técnicas desarrolladas para tal fin. Estas leyes muestran las tendencias del comportamiento y evolución del estado del sistema y pueden permitir la inferencia de algunas relaciones aun no observadas o no explicadas.

Emergen, así, elementos que junto con cierta teoría subyacente orientan para la formulación de hipótesis. Por tal se entiende un enunciado tentativo y que deberá contrastarse, propuesto para describir un evento, relacionar variables o como soporte para la expresión de una ley. Es esta una acti-

vidad creadora del sujeto como ser pensante. Es fundamentalmente el factor sobre el cual reside la construcción del modelo.

Es posible reconocer distintos modelos de hipótesis que determinan el desarrollo de diferentes tipos de pensamientos. Se puede mencionar entre ellas:

a) Aquéllas que son sugeridas por las relaciones empíricas (pensamiento causal);

b) aquéllas que se derivan de otros modelos previos ya sea propuestos en relación con una descripción afín o que se han desarrollado en otro contexto y que se aplican por analogía (pensamiento analógico);

c) aquéllas que se caracterizan por ser originales, es decir, suponen un cambio radical de los modos corrientes de pensamiento (pensamiento trascendente).

Este último tipo de hipótesis puede modificar o cambiar un paradigma, entendiéndose por tal un modelo general de interpretación que enmarca determinadas concepciones, principios y criterios que se aplican al concebir modelos específicos vinculados a situaciones concretas.

Las hipótesis pueden hacer referencia a distintos aspectos vinculados con la configuración de una teoría. Así se pueden reconocer:

a) Los que se formulan en relación con los observables relevantes para la representación del sistema observado, es decir, generar el modelo correspondiente en el marco de un paradigma;

b) las que hacen referencia a las entidades e interacciones implicadas en la descripción pero que escapan al plano de lo observable;

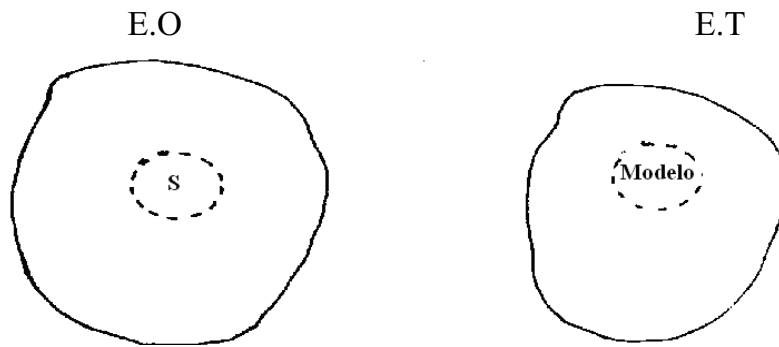
c) las que se vinculan con el enunciado de algún concepto límite;

d) las que se formulan en términos de "leyes" que se presume que gobiernan las entidades teóricas vinculadas con el modelo;

e) las hipótesis "ad-hoc" enunciadas para apoyar otra que presenta inconsistencia por algún testimonio contrastador. Ellas son las que generan la destrucción del paradigma).

Las hipótesis pueden actuar a modo de principios puentes (a) y (c) o principios internos (b), (d) y (e).

El modelo se configura dentro de este contexto: las hipótesis (a), (b) y (c) se emplean en estructurar la representación, es decir, en simplificar el hecho observado hasta llegar a un esquema conservando las propiedades esenciales del mismo. De este modo surge la siguiente correspondencia:



La hipótesis (d) y eventualmente las (e) permiten la derivación de leyes en el contexto de una teoría.

La formulación de hipótesis en un hecho subjetivo; su formulación no se enseña. Sin embargo, la educación científica debe favorecer y desarrollar la actitud para formular hipótesis.

En la expresión de C. Hempel<sup>(4)</sup>: “No hay reglas inducción generalmente aplicables por medio de las cuales se pueda derivar o inferir mecánicamente hipótesis a partir de datos empíricos. La transición de los datos a la teoría requiere imaginación creativa. Las hipótesis y teorías científicas no se derivan de los hechos observados sino que se inventan para dar cuenta de ellos. Son conjeturas relativas a las conexiones que se pueden establecer entre los fenómenos que se están observando, a las uniformidades y regularidades que subyacen a éstos”.

A partir del modelo y de las hipótesis básicas a él vinculadas, comienza a desarrollarse una red en la cual se organizan los conceptos y se relacionan con el formalismo seleccionado para derivar leyes con distintos grados de abstracción. Estas son las denominadas **leyes teóricas, abstractas o hipotéticas**. La existencia de los principios internos ordena la cadena lógico-deductiva, dotando al esquema conceptual de relevancia explicativa.

La ley teórica está expresada con los términos que caracterizan al modelo o con entidades abstractas introducidas por el formalismo asociado que pueden o no corresponderse de la realidad física (por ejemplo, la función de onda en la Mecánica Cuántica). Sin embargo, como la teoría intenta interpretar los fenómenos debe siempre admitir alguna derivación contrastadora. Ello requiere arribar a una expresión en función de términos que admitan su correspondencia con los observables del espacio físico. Son las definiciones operacionales las que nuevamente operarán como principios puentes para satisfacer el registro de contrastabilidad. Es decir, la ley teórica debe admitir la contratación experimental por correspondencia con alguna ley empírica. Debe quedar claro que esta correspondencia no supone igual valoración de ambas leyes, ya

que presentan diferentes niveles de conceptualización y, en consecuencia, distintas jerarquías.

La ley empírica sólo vincula funcionalmente las variables de acuerdo con el comportamiento detectado experimentalmente. La ley teórica arriba a una relación formal, pero, justificando, con la concepción del modelo, la misma.

La formulación teórica debe ir más allá: inferir, derivar nuevas implicancias contrastadoras, nuevas relaciones aún no observadas. Esto confiere a la teoría carácter predictivo, entrando la Ciencia en su papel de aventurarse sobre lo desconocido. Ello deberá ser oportunamente comprobado por observaciones y experimentos. Sin embargo, una contrastación con resultados favorables, por amplia que sea, no valida una hipótesis de modo concluyente, definitivo, sino que se limita a darle un mayor grado de apoyo. En ese marco, puede decirse que el modelo propuesto sólo provee una imagen, representa la concepción de la "realidad" descubierta en él.

### **III. Conclusion**

El esquema propuesto permite destacar que, en un proceso educativo, las definiciones y principios no pueden ser enunciadas pasivamente. Ellas deben ser introducidas a través de un proceso constructivo para ser incorporadas en el esquema conceptual del sujeto como necesidad racional, dotándolas de significado y estableciendo las relaciones emergentes de éste.

La construcción del marco teórico general, vinculado por adecuados principios puentes con lo fáctico, configura un modelo de interpretación. Este debe ser introducido en el proceso de enseñanza valorando su rango de validez.

### **Referencias**

1. HALBWACHS. F. La física de profesor entre la física del físico y la física del alumno. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 1, n. 2, 1989.
2. MASSA, M.; MARCHISIO, S.; LOPÉRGOLO, A.; SÁNCHEZ, P.; MULHAL, W. Influencias en la enseñanza generadas por la física del profesor. REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN LA FÍSICA, 5, RELAFI, 4, Mar del Plata, 1987. Memorias...
3. MULHALL, W. et al. Propuesta para una organización conceptual de física general: el esquema de interacción. REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN FÍSICA, 4, Tucumán, 1985. Memorias...
4. HEMPEL. C. **Filosofía de la ciencia natural**. Madrid: Alianza Universitaria, 1984.