ANALOGÍAS EN FÍSICA

José Orlando Organista*

Abstract

Some ideas about analogies are discussed in this work, as a fundamental process of knowledge. As exam pies, some analogies between physical situations and every day life situations are shown. Final/y an attempt has been made to formalize analogies between physical situations only, to obtain equations of exactly the same form in such a way that a deep understanding of physical situations implies a direct and exact knowledge of the corresponding analogies.

Resumen

En este trabajo se hacen algunas consideraciones acerca de la analogía, como proceso fundamental del conocimiento. Se muestra, a manera de ejemplos, analogías entre situaciones físicas y situaciones cotidianas. Finalmente se ilustra la matematización de algunas analogías entre diferentes situaciones físicas, lo cual conduce a ecuaciones con exactamente la misma apariencia. Por tanto, una comprensión profunda de una de las situaciones implica el conocimiento directo y preciso sobre las otras.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las herramientas que guía la intuición física es el uso de las analogías. El poder analógico o aptitud para establecer unas relaciones entre los objetos del mundo y para perfeccionarlos acercándolos los unos a los otros, permite el paso de lo conocido a lo desconocido.

"La analogía es el proceso fundamental del conocimiento: cuando un niño ve por primera vez un avión se le dice: 'Es un coche que vuela o es un pájaro con un motor". Lo desconocido es de esta forma comprendido a través de lo conocido. Desde luego la explicación no es completa y el niño quiere un día acercarse al avión y que le expliquen sus particularidades. Entonces se forma un concepto claro del avión"[1]. Hasta que un día viendo el despegue de un cohete espacial se le dice es un avión que no tiene alas... y el proceso vuelve a empezar.

El mecanismo de la formación de las analogías es muy parecido al de la abstracción. Despreciando las diferencias accidentales entre dos fenómenos (y que algunas veces esconden todo lo que tienen de comparable) el investigador es capaz de encontrar un nuevo modelo o esquema aplicable a uno y otro.

Las analogías habrá que modificarlas seguidamente cuando la analogía o el modelo hayan cesado de ser exactamente iguales a la realidad que quieren describir.

---

* Profesor Asociado de Cátedra. Departamento de Física. Universidad Pedagógica Nacional.

[1] M Fustier. *Pedagogía de la creatividad.* Editorial Index, Madrid, 1975, pág. 163.

Pueden usarse en un doble sentido: inicialmente, para ayudar a comprender algo (un fenómeno, un hecho, un principio, una ley), que se nos hace abstracto. O para compartir con alguien la comprensión que uno tiene de algo. En cualquiera de los dos casos la analogía permite acercarnos a lo desconocido, mediante la comparación con algo que medio se conoce o con lo que mejor se conoce: se busca allí donde hay luz.[2]

A nivel pedagógico, la analogía le permite al docente

- compartir lo que comprende con sus alumnos,
- la renovación de soluciones tradicionales,
- hacer clases de mayor alcance, pues la comprensión profunda de una situación física implica el conocimiento directo y preciso sobre diferentes situaciones físicas análogas a la estudiada.

Al estudiante, le permite

- acercarse a lo desconocido, a o abstracto.

Al investigador, le permite

- acercarse a lo desconocido,
- crear e imaginar nuevas relaciones en su nueva teoría,
- le genera un mínimo de requisitos a su nueva teoría,
- confrontar sus resultados novedosos de su nueva teoría con los de la teoría más cercana.

Sin embargo, se debe tener cuidado en limitar y hacer notar los puntos claves de la analogía. Una analogía, por extensa, precisa e importante que sea, no es una generalización de una noción. Aquella no puede desplazar el hecho en sí, sino que debe permitir una comprensión inicial de aquello que es abstracto, *o* el hallazgo de nuevas relaciones. Cuando hablamos de un “árbol genealógico” no estamos indicando una extensión de nuestra noción de árbol. Aquí solo estamos usando las palabras en un sentido amplio en razón de alguna analogía.[3]

A continuación aparece una recopilación de analogías, algunas tomadas de los libros tradicionales y otros frutos de la preparación de clase.

2. ANALOGÍAS COTIDIANAS

2.1 Conservación de la energía y los bloques de “Daniel el Travieso”[4]

La ley de la conservación de la energía establece que hay una cantidad numérica (la energía) que no cambia en los múltiples cambios que ocurre en la naturaleza. Esta es una idea muy abstracta porque es un principio matemático. No es la descripción de un mecanismo o algo concreto. R. P. Feynman utiliza la siguiente analogía para ilustrar esta ley: “Imaginemos un niño, tal vez ‘Daniel el Travieso’, que tiene unos bloques que son

---

[2] L. M. Krauss. *Miedo a/a Físi ca: una guía para perplejos.* Editorial Andrés Bello. 1995, pág. 131.

[3] P.E. B. Jourdain. *La naturaleza de la Matemática.* Artículo de la enciclopedia: sigma el mundo de las matemáticas, Editorial Grijalbo. 10ª Edición, volumen 1, pág. 564.

[4] R. P. Feynman. *Física Vol.1.* Addison-Wesley Iberoamericana, 1987, págs. 4-1.

absolutamente indestructibles, que no pueden dividirse en partes, cada uno es igual al otro. Suponga que tiene 28 bloques. Su madre lo coloca con los 28 bloques en una pieza al comenzar el día".

Feynman desarrolla la analogía haciendo que aparezcan (aparentemente) más o menos bloques, debido a las travesuras de "Daniel". Pero la mamá siempre tiene modos de calcular los bloques que han entrado de más o los que Daniel ha escondido en algún sitio donde no se le está permitido mirar. Por ejemplo, cuando Daniel esconde algunos bloques en una caja y le prohíbe a la mamá abrir la caja, entonces ella encuentra fórmulas como:

$$\textit{(bloques vistos)} + \frac{\textit{(peso de la caja)} - 500\ \textit{gramos}}{100\ \textit{gramos}}$$

$$+ \frac{\textit{(altura del agua)} - 15\ \textit{centímetros}}{0{,}5\ \textit{centímetros}}$$

La analogía tiene los siguientes puntos. "Daniel el travieso", es la naturaleza haciendo sus trucos. La mamá es el observador, el investigador. Lo más importante, no hay bloques en el caso de la energía. El cuarto de "Daniel", es el sistema considerado. Para verificar la conservación de la energía debemos tener cuidado de no quitar ni agregar nada. En el caso de la energía no hay el análogo al término bloques vistos. La energía tiene un gran número de formas diferentes, y hay una fórmula para cada una. Por ejemplo, energía potencial gravitacional para un objeto:[*]

$$E_\rho = \textit{(peso)} \times \textit{(altura)} = WH$$

Energía cinética para un objeto [**]

$$E. = \frac{WV^2}{2g}$$

y así para los otros tipos de energías: energía calórica, energía elástica, energía eléctrica, energía química, energía radiante, energía nuclear, energía de masa.

2.2 Comprensión de las leyes fundamentales y el observador del juego de ajedrez[5]

¿Qué se quiere decir por física fundamental?, ¿qué se quiere decir por "comprender" algo? Imaginemos el "mundo" como un enorme juego de ajedrez. Supongamos que nosotros somos observadores y no conocemos las reglas del juego. Son las reglas del juego lo que entendemos por física fundamental. Sí conocemos (adivinamos) las reglas, consideramos que "comprendemos" el mundo.

---

[*] Esta fórmula es aproximada, porque es incorrecta cuando las alturas son grandes, es decir, cuando las alturas son tan grandes que la gravedad se debilita.

[**] Esta fórmula también es aproximada, debido a la corrección relativista para grandes velocidades.

[5] Ibid., págs. 2-2

2.3 Partículas que buscan el mismo estado cuántico y el contagio de la risa[6]

Supongamos que se tiene un montón de partículas en una caja. Sí hay muchos estados posibles de energía para las partículas, podría esperarse que cada una ocupara, en promedio, un estado discreto diferente. Sin embargo, bajo circunstancias especiales, es posible que todas las partículas quieran ocupar un único estado. Esto es análogo a cuando se está viendo una comedia en una sala de cine llena y alguien se ríe a carcajadas. Y mientras más gente se esté riendo alrededor, más difícil resulta no unirse al conjunto.

2.4 El efecto Meissner en los superconductores y Daniel el Travieso en Patines. (También el mecanismo que da masa a las partículas[7])

Los campos magnéticos no pueden penetrar un superconductor. Uno de los mecanismos que explican este fenómeno es que cuando los fotones correspondientes a este campo macroscópico penetran y se mueven por el trasfondo de todos los electrones en estado cohesionado, las propiedades mismas de estos fotones cambian. ¡Actúan como si tuvieran masa! La situación es análoga a lo que le suceda a “Daniel” cuando patina por sobre una pista en comparación a cuando lo hace sobre el barro. Lo pegajoso del barro, haría pensar que “Daniel” es más pesado en el barro que en la pista, en el sentido de que resultaría mucho más difícil empujarlo. Existe también una asombrosa dualidad entre la física de la superconductividad y la que puede explicar el origen de toda masa en el universo.

3. ANALOGÍAS EN CINEMATICA[8]
4.

Movimiento Lineal	Movimiento de Rotación
Desplazamiento lineal: $\vec{dr}$ Velocidad: v	Desplazamiento angular: $d\Theta$ Velocidad angular: ω
Aceleración: $\vec{a}=\frac{dv}{dt}$	Aceleración: $\alpha =\frac{d\omega}{dr}$
Cantidad de movimiento: $\vec{p} = m\vec{v}$	Momentun angular: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
Fuerza: $\vec{F} = \frac{dp}{dt}$	Par : $\tau = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{d\vec{L}}{dr}$
Impulso: $\Delta\vec{p} = \vec{F}\,\Delta t$	Impulso angular = $\Delta\vec{L} = \tau\Delta t$

[6] Ibid., Krauss.
[7] Ibid., Krauss.
[8] P. M. Fishbane. *Física para Ciencias e Ingeniería.* Vols. 1 y 2. Prentice Hall 1994, pág. 321.

Energía cinética: $\frac{1}{2}mv^2$	Energía cinética: $\frac{1}{2}I\omega^2$
Trabajo: $\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$	Trabajo: $\int \tau \, d\Theta$
Potencia: $\vec{v} \cdot \vec{F}$	Potencia: $\omega \cdot \tau$

5. SISTEMAS LINEALES

$$m\left(\frac{d^2x}{dt}\right) + ym\left(\frac{dx}{dt}\right) + kx = F \quad \text{sistema masa - resorte}$$

$$L\left(\frac{d^2q}{dt^2}\right) + R\left(\frac{dq}{dt}\right) + \frac{q}{C} = V \quad \text{circuito oscilante}$$

Donde *L* es la inductancia, *R* la resistencia, *C la capacitancia, q la carga, V* el voltaje, *m* la masa, *y* es el coeficiente de amortiguamiento, *k* la constante elástica y F *la fuerza externa.*

"La analogía es tan brillante que es el fundamento de las computadoras analógicas: dispositivo que imita el problema que queremos resolver, creando otro problema que tiene la misma ecuación pero en otras circunstancias de la naturaleza y ¡que es mucho más fácil de construir, de medir, de ajustar y de destruir"

5. ANALOGÍAS EN ELECTROSTÁTICA

Ecuaciones de la electrostática con dieléctrico en dos formas matemáticas equivalentes:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi, \quad \nabla\varphi . (k\nabla\varphi) = -\frac{\rho^{lib}}{\varepsilon_0} \qquad \nabla . (k\vec{E}) = \frac{\rho^{lib}}{\varepsilon_0}, \quad \nabla \times \vec{E} = 0$$

Donde, *E* representa el campo eléctrico, *k la* constante dieléctrica, *p* la densidad de carga, φ el potencial electrostático, ε_0 la permitividad del vacío.

Se encuentran ecuaciones con la misma apariencia en los temas:

- El flujo estacionario de calor
- La membrana tensa

- La difusión de neutrones
- El flujo irrotacional de un fluido
- El flujo alrededor de una esfera
- Iluminación: el plano alumbrado uniformemente.

6. ANALOGÍAS EN ELECTROMAGNETISMO

Campo Eléctrico	Campo Magnético
$\vec{E}$	$\vec{B}$
dq	$I\vec{dr}$
$\vec{dE} = k \dfrac{dq}{r^2} \hat{r}$	$\vec{dB} = k \dfrac{Idr \times \hat{r}}{r^2}$

7. ANALOGÍAS EN TERMODINÁMICA

Primera ley de la termodinámica: $dU = \delta Q - \delta W$. En diferentes situaciones físicas se transforma en:

- Tensión superficial: $dU = \delta Q - ydA$
- El cuerpo negro: $dU = TdS - pdV$
- Magnetización: $dU = TdS - HdM$
- Campo eléctrico: df] = $TdS - Edq$
- En general, el trabajo generalizado está dado por $\delta W = F_{gener}\ d\sigma$

8. CONCLUSIONES

- Cabe la pregunta al final de este trabajo: ¿Por qué son tan similares las ecuaciones de fenómenos diferentes? ¿Cuál es la unidad subyacente de la Naturaleza? Un acercamiento a la respuesta es que todo está hecho de la misma materia prima, y por lo tanto obedecen las mismas ecuaciones. Pero un análisis sobre esta explicación muestra que, por ejemplo, un potencial eléctrico no tiene la misma naturaleza que un flujo de calor, no están "hechos de la misma materia".

- Por otro lado, la ecuación diferencial que gobierna la dinámica de un sistema, es una aproximación porque suponemos siempre una distribución continua de materia en el espacio.

- Y aquí tenemos otro elemento que nos aproxima a la respuesta: lo común a todos los fenómenos es el espacio, el armazón donde se pone la física. En tanto las cosas sean razonablemente continuas en el espacio, las cosas importantes que intervendrán serán las derivadas de las cantidades respecto a la posición en el espacio. Es por eso que siempre obtenemos una ecuación con un gradiente. Las derivadas tienen que aparecer en forma de gradiente o divergencia".

- Al aprender un tema de física, es posible aprender al mismo tiempo muchos otros temas de física, por lo tanto,

- Cabe la posibilidad de generar cursos integrales alrededor de “ecuaciones iguales tienen soluciones iguales”.