

Enseñanza del método de analogía por medio de experimentos



Amable Mario Batista Rodríguez¹, Luis Felipe Desdín García²

¹Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona. Calle 108, # 29E08/29E y 29F, Ciudad Escolar Libertad, Marianao, Habana, Cuba.

²Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, P.O.B. 6122, Miramar, Habana, Cuba.

E-mail: desdin@ceaden.edu.cu

(Recibido el 01 Julio 2011; aceptado el 30 de Agosto de 2011)

Resumen

El método de analogía se ha empleado de manera exitosa en diferentes campos y periodos de la Física. En el presente trabajo se ilustra su aplicación a la construcción de un modelo, que describe algunos rasgos de la atmósfera relacionados con los fenómenos del calentamiento global, el efecto invernadero de origen antropogénico y un invierno intenso originado por causas naturales o artificiales. La validación del modelo a través de experimentos se utiliza para enseñarles a los estudiantes los fundamentos de dicho método y su aplicación a la solución de problemas físicos.

Palabras clave: Analogía, métodos de enseñanza, experimentos.

Abstract

The analogy method has been applied successfully in different fields and period of Physics. In this paper we illustrate their application to build a model that describes some aspects of atmospheric phenomena related to global warming, the greenhouse effect and anthropogenic heavy winter caused by natural or artificial. Model validation through experiments was used to teach students the fundamentals of the method and its application to the solution of physical problems.

Keywords: Analogy, teaching methods, experiment.

PACS: 01.40.gb, 92.30.Np, 92.70.Mn

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

En los estadios primigenios del desarrollo de la Física, la analogía [1] suplantó con frecuencia la observación y la experimentación sistemáticas, y las observaciones por analogía se establecían, por lo común, en las coincidencias de las características extrínsecas y accesorias. Con el progreso de la Física, la analogía pierde el sentido de medio de explicación, pero continúa desempeñando un importante cometido en la formulación de hipótesis, como medio de comprender el problema y la orientación de la solución [2].

El razonamiento por analogía es una inferencia acerca de la existencia de determinadas propiedades sobre la base de la fijación de la coincidencia existente entre algunas de las otras propiedades [3]. El esquema usual de la deducción por analogía es el siguiente: el objeto B posee los rasgos *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; el objeto C posee los rasgos *b*, *c*, *d*, *e*; por consiguiente, el objeto C posee posiblemente el rasgo *a*.

Aplicada aisladamente, la analogía no tiene gran fuerza demostrativa, no sólo porque su conclusión sea sólo probable, sino, además, porque el nivel de esta contingencia puede ser no muy grande debido a la coincidencia aleatoria

o la fijación de indicadores secundarios de los objetos cotejados.

Las conclusiones por analogía pueden definirse como la transferencia de la información recibida durante la investigación de un objeto (modelo) a otro objeto denominado prototipo (muestra, original). Las razones que permiten arribar a esa conclusión son disímiles. En específico, puede ser la presencia de propiedades comunes o de un paralelismo unívoco entre los elementos del modelo y del prototipo (isomorfismo). Las conclusiones por analogía son la plataforma lógica del empleo de modelos en el proceso cognoscitivo. Por lo que la analogía y el modelado no deben considerarse como métodos diferentes, sino único analogía – modelado, que puede ser examinado desde posiciones diferentes.

El método analogía – modelado se ha aplicado de manera exitosa en diferentes campos y momentos de la Física.

Para estudiar el movimiento de traslación de los cuerpos se utiliza el modelo del punto material y para el estudio del movimiento de rotación se utiliza el modelo del sólido rígido, permitiendo ambos simplificar en gran medida su estudio a partir de la analogía [4].

Bohr y Rutherford para construir el conocido modelo planetario del átomo imaginaron su estructura por analogía con la del sistema solar [5]. A su vez, el éxito del modelo de capas electrónicas en el átomo estimuló los intentos que condujeron a la creación del modelo de capas del núcleo atómico [6]. Asimismo, Weissaker elaboró su modelo nuclear colectivo por analogía con una gota de agua [7] y el éxito del modelo del gas ideal para explicar el comportamiento de los gases a bajas presiones inspiró el modelo de gas de Fermi del núcleo [8]. Para la elaboración del formalismo que describe la interacción de los neutrones en un medio reproductor o no, muchos de los conceptos aplicados al transporte de átomos y moléculas fueron extrapolados para explicar su transporte [9].

La lógica del equilibrio detallado que se usó en los procesos moleculares fue utilizada para el cálculo de las secciones eficaces de interacción en el caso de las reacciones nucleares inversas [10]. El conocimiento de las reacciones químicas tuvo gran influencia metodológica al abordarse las reacciones nucleares y la comprensión del papel de los catalizadores químicos inspiró a los investigadores que abordaron la síntesis termonuclear empleando μ mesones, de ahí provino la denominación del fenómeno: μ - catálisis [11].

Hyugens partió del dominio de las propiedades de la propagación de las ondas mecánicas para proponer el comportamiento ondulatorio de la luz [12]. Y esa misma analogía conduciría muchos años después a que Davisson estudiara la difracción de electrones en un cristal de níquel para demostrar el comportamiento ondulatorio de estos [13].

Los ejemplos citados demuestran la importancia que tiene en la enseñanza de la física que los estudiantes adquieran los conocimientos y la capacidad de emplear el razonamiento por analogía para formular modelos que les permitan interpretar y describir sistemas y fenómenos que ha de enfrentar en su futuro.

En el presente trabajo se ilustra la aplicación del método de analogía – modelado a la construcción de un modelo que describa los rasgos esenciales de la atmósfera relacionados con los fenómenos del calentamiento global [14], el efecto invernadero de origen antropogénico [15] y un invierno intenso originado por causas naturales o antropogénicas [16]. Así mismo, se proponen un grupo de experimentos que permiten validar el modelo propuesto de manera que los estudiantes asimilen la esencia de este método científico. Estos deberán satisfacer los siguientes requisitos: a) Empleo de instrumentación sencilla, b) Tiempo de ejecución razonablemente breve, c) Carácter demostrativo y d) Vinculación a fenómenos medioambientales.

Elaboración del Modelo Experimental

El clima de la Tierra y su temperatura media superficial global son consecuencias del balance entre la cantidad de radiación solar absorbida por la superficie terrestre y la atmósfera, y la cantidad de radiación de longitud de ondas largas que sale emitida por el sistema. Este proceso está gobernado por el albedo (reflectividad) del sistema, que

depende fuertemente del contenido atmosférico de gases y partículas (tales como nubes y polvo).

El albedo es la proporción de luz recibida por un cuerpo celeste que es reflejada hacia el espacio exterior [17]. Mientras más claro o blanco es el planeta, mayor será su albedo, y mientras más oscuro o negro sea éste, menor será. Un albedo alto enfría el planeta, porque la energía empleada para calentar el mismo es mínima. Por el contrario, un albedo bajo calienta el planeta, porque la mayor parte de la luz es absorbida por este [18].

La parte inferior de la atmósfera es total o parcialmente opaca para la radiación calórica de la superficie y para su propia radiación. La radiación solar en la gama visible generalmente penetra a suficiente profundidad, calienta la superficie y las capas inferiores de la atmósfera, y el flujo de radiación calórica planetaria (que mantiene en equilibrio la afluencia de energía solar) sale hacia lo alto.

El efecto invernadero es la elevación de la temperatura de las capas internas de la atmósfera del planeta, condicionada por el hecho de que ésta es más transparente para la radiación solar que para la radiación calórica superficial.

La acumulación de CO_2 , CH_4 y otros gases de efecto invernadero en los últimos 150 años ha conducido a un incremento de la absorción de la radiación infrarroja en la atmósfera (reforzamiento del efecto invernadero) y el consecuente calentamiento del clima [19]. La actividad humana ha producido cambios en los aerosoles y las nubes que pueden causar cambios en el albedo y por lo tanto un enfriamiento que compensa una parte sustancial del reforzamiento del efecto invernadero.

En la Fig. 1 se muestra la instalación experimental que simulará la influencia de los gases y aerosoles en el albedo de la Tierra. Está constituida por: a) Recipiente PET (PET – Polietileno Tereftalato) de 1500cm^3 transparente e incoloro, b) Termómetro con un rango de temperatura entre $10 - 50^\circ\text{C}$ y graduación mínima de 0.2°C , c) Bombillo incandescente de 60W y d) Cilindro de papel blanco para evitar que la radiación de la fuente incida directamente en el bulbo del termómetro.

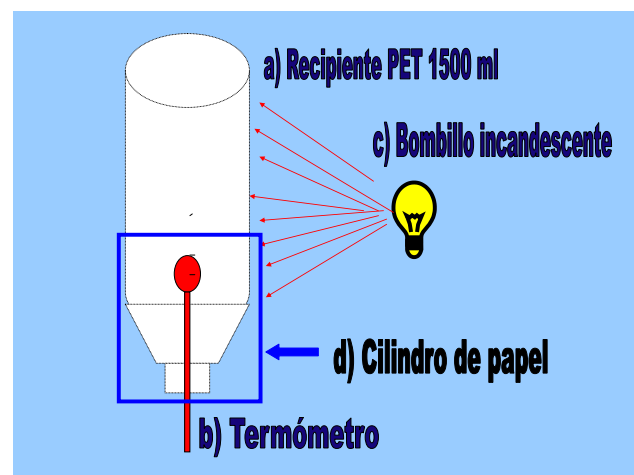


FIGURA 1. Instalación experimental que modela el sistema Sol-Atmósfera-Tierra.

Dicho sistema fue elaborado a partir del isomorfismo que se estableció entre la realidad (sistema Sol – Atmósfera – Tierra) y los elementos del sistema que le simularán, ver Tabla I.

TABLA I. Aspectos considerados en la construcción de la analogía modelo – realidad.

Aspectos a comparar	Modelo Físico	Realidad (Prototipo)
Confinamiento del gas	Paredes recipiente PET	Gravedad Tierra
Fuente de luz	Bombillo incandescente	Sol
Tipo de Gas	Aire	Aire
Gases de Efecto Invernadero	Vapor de agua Dióxido de Carbono	Vapor de agua Dióxido de Carbono
Superficie absorbente	Cilindro metálico negro	Superficie de la Tierra con alta absorción de radiaciones luminosas
Aerosoles	Lamina de polietileno negro	Concentraciones de polvos de carbón en altas capas atmósfera

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Validación del Modelo

Se efectuaron 5 experimentos. En el caso de los experimentos del No. 1 al 4 la distancia entre la fuente de luz y la pared del recipiente fue de 2cm. y en el experimento No. 5 fue de 6cm. El tiempo τ se midió con un cronómetro en intervalos de 2min. Al inicio de cada experimento se midió la temperatura inicial dentro del recipiente T_0 una vez transcurrido cinco minutos, suficiente para que se estableciera el equilibrio térmico. A continuación se conectó la fuente de luz y se comenzaron a registrar los valores de temperaturas $T(\tau)$ durante ~ 1h. En cada experimento se determinó la dependencia

$$\beta(\tau) = \frac{T(\tau) - T_0}{T_0} \cdot 100 (\%).$$

El experimento No. 1 es de referencia para recrear el efecto invernadero natural (sin intervención de las acciones humanas) por lo que el gas dentro del recipiente era aire. El experimento No. 2 estaba destinado a demostrar que el vapor de agua presente en el aire actúa como trampa de calor y para ello se introdujo vapor de agua en el interior del recipiente. Para mostrar la contribución del CO_2 al efecto invernadero se diseñó el experimento No. 3, en el que se introdujo dentro del recipiente una varilla de incienso encendida colocada en la tapa del mismo hasta que la combustión agotó el oxígeno del interior y se apagó. El

Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 5, No. 3, Sept. 2011

Enseñanza del método de analogía por medio de experimentos papel que juega el estado de la superficie del planeta en el calentamiento de la atmósfera se simuló en el experimento No. 4 introduciendo un cilindro metálico negro en el interior del recipiente.

La modelación de los efectos de una súper erupción volcánica, el impacto de un asteroide o la generación de aerosol debida a una guerra nuclear, fenómenos que darían lugar a un invierno global muy severo se simula en el experimento No. 5. Para lograrlo se colocó una lámina de polietileno negra entre la fuente de luz y el recipiente (a 3cm. de la superficie de este) para simular las partículas finas que se acumularían en las altas capas de la atmósfera como consecuencia de dichos fenómenos y que absorberían la radiación solar.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos en los experimentos del No. 1 al 4. Se observa que cuando se alcanza el equilibrio térmico el incremento relativo de la temperatura β es mayor en los experimentos del No. 2 al 4 que el No. 1. Lo cual se explica por la presencia de vapor de agua, CO_2 y la coloración de la superficie del cilindro metálico, agentes que están relacionados con la absorción de las radiaciones infrarrojas, ya que actúan como trampas de calor, contribuyendo así al efecto invernadero, y por consiguiente al calentamiento global del planeta. De manera que en el experimento No. 1 se simula el sistema Sol – Atmósfera – Tierra en la época previa a la Revolución Industrial y los Experimentos 2 – 4 reflejan la influencia de los factores antropogénicos consecuencia de ella.

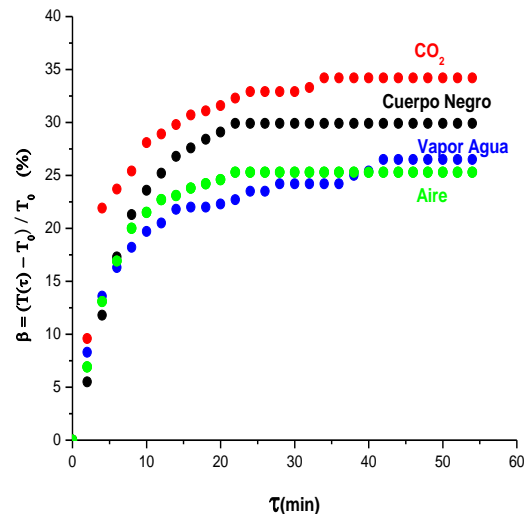


FIGURA 2. Comportamiento del modelo que ilustra la influencia de los gases de efecto invernadero y de la naturaleza de la superficie terrestre en el equilibrio térmico de la atmósfera.

Las formas de las curvas $\beta(\tau)$ ilustran como se establece el equilibrio térmico dentro del recipiente para $\tau > 40$ min, en todos los experimentos $\beta(\tau)$ tiende al valor de equilibrio

β_{equil} . En el caso del aire $\beta_{\text{equil}} = 25.3 \pm 0.1\%$, en aire con vapor de agua es $\beta_{\text{equil}} = 26.5 \pm 0.1\%$ lo que representa un incremento del valor de β_{equil} de 4.7%. En el caso del CO_2 $\beta_{\text{equil}} = 34.2 \pm 0.1\%$ y 35.2% de incremento, para el cuerpo negro $\beta_{\text{equil}} = 29.9 \pm 0.1\%$ su incremento es 18.0%. El incremento referido siempre es respecto al valor del aire.

Los resultados del experimento que simula los efectos de una súper erupción volcánica, el impacto de un asteroide o la generación de aerosol debida a una guerra nuclear se muestran en la Fig. 3. La curva $\beta(\tau)$ del experimento No. 5 con la presencia de la lámina de polietileno negro resultó sistemáticamente inferior a los valores que se obtienen sin ella. Para el aire en este caso $\beta_{\text{equil}} = 12.2 \pm 0.1\%$ y para el experimento con la lámina negra de polietileno $\beta_{\text{equil}} = 7.9 \pm 0.1\%$ y un decremento de 35.2%.

Los resultados de los experimentos del 1 al 4 demuestran que los gases de efecto invernadero (CO_2 , vapor de agua) conducen a una reducción del albedo, mientras que el experimento 5 ilustra que fenómenos como las súper erupciones volcánicas, el impacto de grandes asteroides o una hipotética guerra nuclear conduciría a un aumento del valor del albedo de la Tierra. De manera que el modelo escogido permite enseñar la acción de estos elementos de naturaleza antropogénica.

Con vistas a reducir el tiempo de los experimentos se recomienda efectuar simultáneamente el No. 1 con otro de los propuestos, para lo cual se puede escoger una instalación que tenga dos recipientes PET (con sus respectivos termómetros y cilindros de papel blanco) como los de la Fig. 1 dispuestos simétricamente alrededor de la fuente de luz de manera que se puedan efectuar en paralelo dos de dichos experimentos. Asimismo, se pueden emplear recipientes de menor volumen que permiten alcanzar el equilibrio en un intervalo de tiempo más breve.

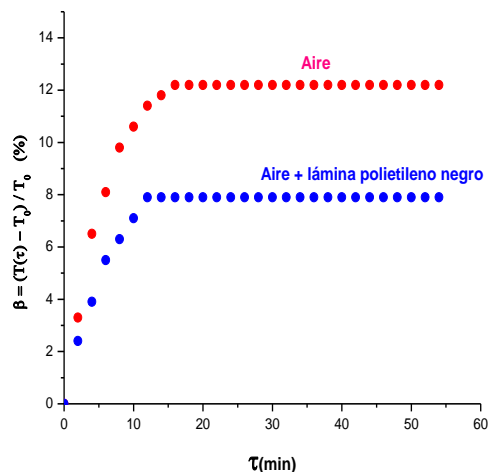


FIGURA 3. Respuesta del modelo ante efectos que simulan un invierno intenso originado por causas naturales o artificiales.

Estos experimentos ilustraron la aplicación del método de analogía – modelado a la construcción de una maqueta que describe de una manera burda los rasgos esenciales de la

atmósfera relacionados con los fenómenos del calentamiento global, el efecto invernadero de origen antropogénico y un invierno severo originados por causas naturales o antropogénicas. Este comportamiento permite al profesor introducir el concepto de equilibrio térmico en un sistema y los mecanismos de propagación del calor. Debe aclararse que los valores de β_{equil} dependen de la humedad relativa y la temperatura ambiente de partida, por lo que dichos valores de β_{equil} no siempre serán iguales, pero ello no altera su capacidad de reflejar la influencia de los factores estudiados en el comportamiento del albedo.

Los experimentos frontales propuestos se realizaron con instrumentación sencilla, en tiempos de ejecución razonables y vinculados a fenómenos medioambientales. Los mismos pueden ser empleados para exponer los conceptos de las formas de propagación del calor, el equilibrio térmico, explicar la naturaleza del efecto invernadero y su vinculación a la actividad antropogénica. Ellos ilustran las leyes físicas que intervienen en los procesos de intercambio de energía en la atmósfera y lo alterables que resultan estos a la actividad humana. La familiarización con estos fenómenos constituye también una herramienta de sensibilización a estudiantes, profesores y ciudadanos en general para que adopten actitudes responsables antes los problemas ambientales que se deberán afrontar en el presente y en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] Turner, J., *Maxwell on the method of physical analogy*, The British Journal for the Philosophy **23**, 226–231 (1955).
- [2] Sowa, J. F., Majumdar, A. K., *Analogical reasoning, Conceptual Structures for Knowledge Creation and Communication*, Proceedings of ICCS, (Springer–Verlag, Berlin, 2003), pp. 16–33.
- [3] *Diccionario de Filosofía*, (Editorial Progreso, Moscú, 1984).
- [4] French, A. P., *Mecánica Newtoniana. MIT Physics Course*, (Editorial Reverté, S. A., Barcelona, 1974).
- [5] Baiser, A., *Conceptos de Física*, 1ª Ed. Revisada, Instituto del Libro, (Editorial Ciencia y Técnica, La Habana, 1970).
- [6] Bohr, A., Mottelson, B. R., *Nuclear Structure*, (T.1, Single Particle Motion. W. A. Benjamin Inc. New York – Amsterdam, 1969).
- [7] Frish, S., Timoreva, A., *Curso de Física General*, (T.3, Editorial Mir, Moscú, 1968).
- [8] Frauenfelder, H., Henley, E. H., *Subatomic Physics*, (Prentice – Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1974).
- [9] Ferzinger, J. H., Zweifel, P. F., *The theory of neutron slowing down in nuclear reactors*, (Pergamon Press, Oxford, 1966).
- [10] Mujin, K. N., *Física Nuclear Experimental*, 4ta Edición, (T.1, Energoatomizdat, Moscú, 1983).
- [11] Jones, S. E., *Muon - Catalyzed Fusion Revisited*, Nature **321**, 127–133 (1986).
- [12] Ditchburn, F. R. S., *Light*, (Blackie & Son Limited, London – Glasgow, 1965).

- [13] Marion, J. B., *Physics and the Physical Universe*, (John Wiley & Sons Inc., New York, 1971).
- [14] Weart, S., *The discovery of rapid climate change*, *Physics Today* **56**, 30–36 (2003).
- [15] Spadaro, J. V., Langlois, L., Hamilton, B., *Evaluación de la diferencia. Emisiones de gases de efecto invernadero por la cadena de generación de electricidad*, *Boletín OIEA*, Viena, Austria **42**, 19–24 (2000).
- Enseñanza del método de analogía por medio de experimentos*
- [16] Toon, O. B., Robock, A., Turco, R. P., *Environmental consequences of nuclear war*, *Physics Today* **61**, 37-42 (2008).
- [17] Otterman, J., *Anthropogenic impact on the albedo of the earth*. *Climatic Change* 1, 2, 137-155, (1977)
- [18] Charlson, J. R., Valero, F. P. J., Seinfeld, J. H., *In search of balance*, *Science* **308**, 806–807 (2005).
- [19] Jacob, D. J., *Introduction to Atmospheric Chemistry*, Chapter 7, *The Greenhouse*, (Princeton University Press, New Jersey, 1999).