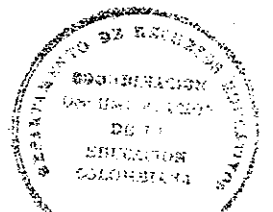


MDF 029-86

CRUCIALIDAD EN EL EXPERIMENTO DE
FOUCAULT (LUZ) Y RUMFORD (CALOR ESPECIFICO)
(RESUMEN)

HECTOR ANTONIO GOMEZ RAMIREZ

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE FISICA
PROGRAMA DE POSTGRADO
Bogotá, junio de 1986



INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
MARCO TEORICO	4
Antecedentes	4
BASES TEORICAS	8
Definición del experimento crucial	8
Características de los experimentos cruciales	8
Lógica del experimento crucial (provisional) de Foucault (Luz)	9
Lógica del experimento crucial de Rumford (Calor específico)	13
METODOLOGIA	17
RESULTADOS	21
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	22

INTRODUCCION

El presente trabajo busca esencialmente rescatar los ingredientes epistemológicos de los experimentos cruciales y llevarlos al campo de la pedagogía. Se trabajaron especialmente el experimento de Foucault y el de Rumford.

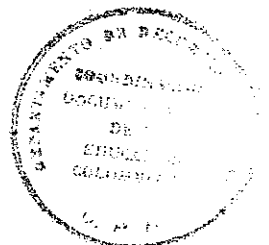
El objetivo del trabajo se centra en el análisis de los elementos fundamentales, tanto a nivel lógico como de hecho, que presentan estos dos experimentos.

Un segundo objetivo consistió en la elaboración, desarrollo y evaluación de estos materiales.

Se analizó la crucialidad del experimento de Foucault y el de Rumford, para luego llevarlos a dos guías de trabajo en las que se hacen ver generalidades, teorías, proposiciones comunes, hipótesis rivales, proposiciones ad-hoc, proposiciones específicas, experimento y resultados.

Como antecedentes se muestran la presencia del experimento crucial y algunas opiniones de historiadores y filósofos de la física, acerca de estos experimentos. Por la riqueza conceptual se analizó el experimento crucial de Lenard, que constituye el final de la polémica iniciada por Foucault con relación a la naturaleza de la luz.

Entre lo más relevante que se encontró en esta investigación, se puede hacer notar la gran aceptación de esta nueva metodología y los buenos resultados de comprensión de estos problemas en la ciencia.



OBJETIVOS

Entre los objetivos de esta investigación se encuentran:

- Analizar los elementos fundamentales que presentan los experimentos de Foucault y de Rumford a nivel lógico y práctico.
- Diseñar guías que se puedan realizar con un enfoque crucial.
- Experimentar y evaluar los logros en el proceso enseñanza - aprendizaje.
- Buscar el mejoramiento en la enseñanza de la física.

MARCO TEORICO

ANTECEDENTES

En esta parte se vió la importancia de los experimentos cruciales dentro del contexto de la física y del conocimiento científico en general, a través de citas.

Dentro de las citas se encuentran: La dada por la academia de la URSS que dice que los experimentos decisivos -crucis- aparecen en la época de Newton, cuando hace una descomposición de la luz.

Bronoswki afirma que el experimento crucial aparece en la época de Newton cuando demostró que separados los colores por la refracción, ya no pueden modificarse más. "Newton denominó a este experimento Crítico".

Popper dice que el experimento crucial se idea con la finalidad de someter a contraste dos teorías en competencia

y refutar una de ellas.

Baker y Allen dicen que el experimento crucial aparece como una necesidad para dirimir entre dos hipótesis contradictorias.

Se consideran también experimentos cruciales aquellos que en alguna forma contribuyen en el esclarecimiento de las grandes ideas de la física como: corpúsculos u ondas, continuidad o discontinuidad, acción a distancia o acción continua, partículas o campos.

Veamos algunos ejemplos:

EXPERIMENTO CRUCIAL DE FOUCAULT

Corpúsculos — discontinuidad
 LUZ
 Ondas — continuidad

EXPERIMENTO CRUCIAL DE RUMFORD

Fluidó — continuidad
 Energía — discontinuidad



EXPERIMENTO CRUCIAL DE FRANK Y HERTZ

EN EL ATOMO Niveles de Energía — discontinuidad
 Energía — continuidad

EXPERIMENTO CRUCIAL DE MILLIKAN

Carga eléctrica — continuidad y discontinuidad

El experimento crucial llevado a cabo por Lenard en el año 1902 con el fin de decidir entre la teoría de partículas y la teoría de la ondulación de la luz.

En síntesis podemos decir con relación a dicho experimento:

- El experimento de Lenard falsea la hipótesis ondulatoria de Fresnel, ya que según Fresnel, decía que la energía de vibración sobre una superficie esférica tiene el mismo valor para áreas iguales y disminuye a medida que aumenta r . $E = \frac{La}{4\pi r^2}$. En cambio Lenard dice lo contrario. La energía de vibración sobre una superficie esférica no varía con la distancia, cuando aumenta r , depende sólo del color.
- Lenard confirma la teoría de las "partículas de luz"

con su experimento en donde muestra que la luz emitida por una fuente que pega en un metal, produce emisiones de fotoelectrones que son llamados "cuantos de luz" o Fotones.

- Einstein reconoce el carácter crucial del experimento de Lenard. Supone que la energía no se distribuye homogéneamente sobre la onda, sino que se concentra en porciones llamadas Cuantos de Luz o fotones, que son parte de la radiación electromagnética y que se mueven a la velocidad de la luz.

- El experimento de Lenard es confirmado por la teoría de Planck. Donde la energía de cada porción es proporcional a la frecuencia $E = h\nu$.

BASES TEORICAS

Consideré importante la definición de experimento Crucial de este punto de vista, para diferenciarla de las anteriores (citas).

Definición de experimento Crucial

Es el que permite resolver el litigio entre dos hipótesis en pugna, y es necesario llevar su análisis hasta el punto en que resulte evidente que se deducen de ellas conclusiones incompatibles y contradictorias entre sí.

Si se ve que existen fenómenos incompatibles con las conclusiones deducidas de la primera hipótesis y, a la vez concordantes con las obtenidas de la segunda, la primera hipótesis ha de ser desechada por errónea y la segunda ha de considerarse confirmada en los límites de su comprobación experimental.

CARACTERISTICAS DE LOS EXPERIMENTOS CRUCIALES

- El experimento Crucial permite elegir entre dos hipótesis rivales la hipótesis acertada, es decir el resultado de este experimento facilita tomar la deci-

sión sobre cuál de las hipótesis es válida.

- Los experimentos cruciales llevan a grandes cambios y aproximaciones en la formación del conocimiento.
- Formuladas las hipótesis o premisas, son las reglas de la lógica las que establecen la deducción, y las que sirven de nexo entre las hipótesis y la conclusión.

Ahora cuando se habla de la Crucialidad podemos afirmar que no es definitiva, es decir no siempre es estable. La característica de Crucialidad de un experimento depende de los futuros ajustes que se puedan realizar a las hipótesis que hacen parte de una teoría, como también en la solución de los problemas de aplicación.

LOGICA DEL EXPERIMENTO CRUCIAL (PROVISIONAL DE FOUCAULT) (LUZ)

Para dirimir entre las dos hipótesis rivales, la corpuscular y la ondulatoria sobre la naturaleza de la luz, se parte de lo siguiente:

Newton expuso la siguiente hipótesis general:

H₁: La luz consiste en corpúsculos que se mueven a altas velocidades.

Huygens supuso la siguiente hipótesis general:

H₂: la luz son ondas que se propagan en un medio elástico llamado éter.

Aquí vale la pena subrayar que ambas hipótesis perfectamente explican la propagación rectilínea, la reflexión y la refracción de la luz. Estas características de la luz propias de ambas hipótesis podrían entenderse como un conjunto de sucesos E.

Ahora de la hipótesis H₁ implicaría por lo menos una proposición ad-hoc propuesta pro Newton así: La velocidad de los corpúsculos en el aire es C y en el agua C', y postula que a causa de las fuerzas ejercidas por las partículas de agua, la luz se acelera en el agua. Por lo tanto a partir de dicha proposición ad-hoc, dedujo la siguiente proposición:

P₁: La velocidad de la luz en el agua es mayor que la velocidad de la luz en el aire $C' > C$.

De otra parte la hipótesis H_2 , implicaría por lo menos una proposición ad-hoc propuesta por Huygens así:

Las ondas de luz se hacen más lentas en el medio más denso y se produce una desaceleración.

A partir de dicha proposición ad-hoc dedujo la siguiente proposición:

P_2 : La velocidad de las ondas de la luz en el aire es C' y en el agua C . Por lo tanto afirmó que $C < C'$.

Ahora bien, como las proposiciones P_1 y P_2 no pueden ser ambas verdaderas, esto precisamente le permite explicar el experimento, con el objeto de rechazar la proposición falsa.

Fue León Foucault quien en el año 1850 logró llevar a cabo un experimento con el fin de verificar cuál de las dos proposiciones era la falsa. El resultado de su experimento demostró que P_2 es la verdadera, en la cual se afirma que la velocidad de la luz en el agua es menor que la velocidad de la luz en el aire.

Vemos pues, que el experimento Crucial llevado a cabo por

Foucault no somete a prueba solamente las hipótesis H_1 y H_2 , sino también sus proposiciones ad-hoc, como P_1 y P_2 . Se puede concluir: Foucault le dio todo el apoyo a Huygens quien afirmaba la proposición P_2 y la P_1 como afirmaba Newton, quedó refutada.

Por último se puede decir que el experimento de Foucault es de carácter crucial, debido a que logró dirimir entre las dos hipótesis rivales. Pero este experimento se le considera de carácter provisional por la siguiente razón: Dicho experimento del que suele decirse que resolvió totalmente, de una vez para siempre, la controversia entre la hipótesis corpuscular y la ondulatoria acerca de la naturaleza de la luz, en realidad no ocurrió así. A través del tiempo continuó la pugna entre dichas hipótesis. Hoy en la física contemporánea, se observa un renacimiento parcial de la hipótesis corpuscular en cuanto se habla de unos nuevos corpúsculos llamados Cuantos de energía o Fotones.

El experimento resultó definitivo respecto al conjunto teórico al que pertenecía dicha hipótesis, y verdaderamente lo que encontró Foucault fue un error (hipótesis corpuscular).

LÓGICA DEL EXPERIMENTO CRUCIAL DE RUMFORD (CALOR ESPECÍFICO)

La lógica del experimento Crucial de Rumford consiste en lo siguiente:

Antes de que Rumford realizara dicho experimento, reinaba la teoría del calórico que se basaba sobre las siguientes proposiciones:

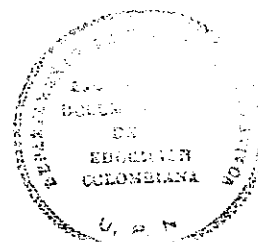
- a. El calor es un fluido que calienta las cosas y que fluye de las cosas calientes a las frías; este fluido se llama calórico.
- b. Cuando el calórico fluye en una sustancia, obliga a ésta a expandirse debido a que ocupa un lugar en el espacio; mientras más calórico contiene una sustancia, más caliente se encuentra y mayor es la expansión. Cuando sale calórico de una sustancia, ésta se enfría y se contrae.
- c. Cuando se agrega suficiente calórico a una sustancia sólida, el calórico y la sustancia se combinan para formar un líquido, si se agrega suficiente calórico al líquido, los dos se combinan para formar un gas. Los cambios se invierten cuando un gas se transforma en líquido y el líquido en sólido.

- d. El calórico no puede ser creado ni destruido, no se puede formar a partir de alguna cosa, ni puede ser cambiado en otra.
- e. El calórico es invisible, no tiene sabor, olor, ni peso. En realidad, no hay manera directa de observar el calórico, sólo se pueden observar sus efectos.

Ahora bien, Rumford aunque dudaba de algunas de las proposiciones de la teoría del calórico, tenía las siguientes proposiciones, a saber:

- P_1 : El calor es un flogistum, es decir, un conjunto de partículas, que pasan de los cuerpos calientes a los fríos.
- P_2 : Al taladrar el cañón, o al frotar las manos entre sí, el calor se obtiene del movimiento (energía mecánica).
- P_3 : El calor producido por la fricción es inagotable.

Cuando intentó llevar a cabo su experimento con relación a los calores específicos, formuló la siguiente hipótesis general:



H: El calor específico de un mismo cuerpo es diferente aunque se mida a la misma temperatura, y de acuerdo con el tipo de calor utilizado.

Pero dada la circunstancia de que trabajó con dos tipos de calor, la hipótesis general la subdividió en dos hipótesis auxiliares.

H_1 : El calor es originado por frotación.

H_2 : El calor es originado por flujo.

Después de haber realizado su experimento, midiendo el calor específico de un mismo material, obtuvo resultados iguales a la misma temperatura, sin influir para nada el tipo de calor utilizado ya sea por frotación o por flujo.

Luego la parte Crucial consistió en poder verificar su hipótesis general en la cual opinaba que el calor específico era diferente, y llegó a lo contrario, es decir, que el calor específico es el mismo, sin influir para nada el tipo de calor utilizado ya sea por frotación o por flujo.

Experimentos posteriores realizados por Mayer, condujeron a la Crucialidad de saltar de una concepción del calor

como un fluido a la concepción del calor como una forma de energía y posteriormente confirmado experimentalmente por Joule.

METODOLOGIA

Se investigaron dos experimentos que se pudieran desarrollar con un enfoque Crucial y se diseñaron las respectivas guías, entre las cuales se encuentran:

Guía No. 1: Crucialidad en el experimento de Foucault (Luz).
Guía No. 2: Crucialidad en el experimento de Rumford (Calor específico).

Las guías presentaron las siguientes estructuras:

Guía No. 1.

GENERALIDADES - TEORIAS - PROPOSICIONES COMUNES - HIPOTESIS
PROPOSICIONES AD-HOC - PROPOSICIONES ESPECIFICAS - EXPERI-
MENTO - VERIFICACION.

Guía No. 2.

GENERALIDADES - TEORIA DEL CALORICO - PROPOSICIONES -
HIPOTESIS GENERAL - HIPOTESIS AUXILIARES - EXPERIMENTO -
RESULTADOS.

Se seleccionaron para esta investigación los alumnos del grado 11 en el Colegio Distrital Juan del Rizzo.

La mecánica que se siguió para la aplicación de las guías 1 y 2 fue la siguiente:

En cuanto a la guía No. 1 se hicieron 7 grupos cada uno de 6 alumnos, se les entregó la primera parte para que analizaran las generalidades, teorías, proposiciones comunes, hipótesis, proposiciones ad-hoc, proposiciones específicas, desarrollo histórico del experimento y la lógica del experimento. Luego se elaboró un pretest con el propósito de analizar si los alumnos entendieron lo referente a la Crucialidad del experimento de Foucault desde el punto de vista histórico y lógico.

Posteriormente, los alumnos realizaron el experimento que se basó:

1. Análisis de la fundamentación conceptual del modelo corpuscular de la luz y su evidencia experimental.
2. Análisis de la fundamentación conceptual del modelo ondulatorio de la luz y su evidencia experimental.

3. Experimento de la refracción de la luz en el sistema aire - vidrio.

Finalmente, los alumnos respondían a un posttest que se diseñó con el fin de captar si entendieron lo relacionado a la Crucialidad.

En cuanto a la guía No. 2, se seleccionaron los alumnos del grado 11 en el Colegio Distrital Juan del Rizzo.

La mecánica que se siguió para la aplicación fue la siguiente: se hicieron 7 grupos cada uno de 6 alumnos, se les entregó la primera parte para que analizaran las generalidades, teoría del calórico, desarrollo histórico del experimento de Rumford que originó un cambio en la teoría del calórico y la lógica del experimento de Rumford. Luego se elaboró un pretest con el propósito de analizar si los alumnos entendieron lo referente a la Crucialidad del experimento de Rumford.

Posteriormente, los alumnos realizaron el experimento que se basó:

1. Análisis de la fundamentación conceptual del calor específico.

2. Determinación de la capacidad calórica del calorímetro.
3. Determinación del calor específico del hierro (utilizando calor de frotación).
4. Determinación del calor específico del hierro (utilizando calor de flujo).

Finalmente respondieron a un postest.

RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en el pretest y postest de la guía No. 1, se aprecia que los alumnos entendieron el análisis histórico crítico, la lógica del experimento y la polémica entre las dos hipótesis rivales. En cuanto a las experiencias llevadas a cabo, el 90% no lograron entenderlas, por lo tanto, no relacionaron la Crucialidad en dicha experiencia.

Con relación a la guía No. 2, se puede decir que a partir de los resultados obtenidos en el pretest y postest, se aprecia que los alumnos entendieron el análisis histórico y la lógica del experimento. En cuanto a las experiencias llevadas a cabo, el 82% lograron entender la Crucialidad del experimento de Rumford.

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Los resultados de la presente investigación señalan que se pueden realizar guías con enfoque Crucial, las cuales tienen estructuras propias a saber:

Guía No. 1. (Crucialidad en el experimento de Foucault.
GENERALIDADES - TEORIAS - PROPOSICIONES COMUNES - HIPOTESIS
PROPOSICIONES AD-HOC - PROPOSICIONES ESPECIFICAS - EXPERI-
MENTO - VERIFICACION.

Guía No. 2. (Crucialidad en el experimento de Rumford
Calor específico).
GENERALIDADES - TEORIA DEL CALORICO - PROPOSICIONES - HIPO-
TESIS GENERAL - HIPOTESIS AUXILIARES - EXPERIMENTO - RESUL-
TADOS.

En cuanto a los logros en el proceso enseñanza-aprendizaje, se observa que en la guía No. 1, los alumnos entendieron el análisis histórico crítico, la polémica entre las dos

hipótesis rivales y la lógica del experimento.

Con relación al método de simulación de la guía No. 1, un porcentaje no logró entender la Crucialidad llevada a cabo por medio de las experiencias diseñadas.

En la guía No. 2, los alumnos entendieron el análisis histórico y la lógica del experimento.

Con relación a las experiencias que se llevaron a cabo, un porcentaje de alumnos adquirieron mayor comprensión y conocimiento profundo del desarrollo conceptual de la física con respecto al experimento de Rumford.

Teniendo en cuenta la metodología que se llevó a cabo, los estudiantes logran adquirir en forma racional el significado de generalidades, teorías, proposiciones e hipótesis así como un encadenamiento lógico de los hechos.

Debido a la importancia de esta metodología, se logra un aprendizaje reflexivo en el cual los estudiantes son capaces de razonar en forma lógica.

Considero que se debe ilustrar previamente a los alumnos sobre el significado de los términos utilizados, así como

la dinámica de dicha metodología, y dar ejemplos de experimentos cruciales.

Sugiero de gran importancia la entrega a los alumnos antes de ir al laboratorio, de una lectura recomendada con los antecedentes y la lógica del experimento.

Finalmente recomiendo que se pueden desarrollar otras guías con enfoque crucial que serán motivo para continuar esta investigación.