



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# **POSGRADO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR (MADEMS)**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

**SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA  
MODERNA A NIVEL BACHILLERATO**

### **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA  
EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

**P R E S E N T A**

**ALEJANDRA LIRA VÁZQUEZ**

**TUTOR DE TESIS DR. ADRIÁN MARTÍNEZ GONZÁLEZ**

**MÉXICO, D. F.**

**AGOSTO, 2006.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy sinceramente al Dr. Jorge Rafael Barojas Weber, por su valiosa enseñanza del TADIR y por sus correcciones a la tesis, asimismo agradezco al Dr. Adrián Martínez González por su enseñanza del ABP, sus comentarios y sugerencias para la estructuración de esta tesis. Porque sin el apoyo que me brindaron ambos, no hubiera sido posible la realización de este trabajo de tesis.

Hago un especial agradecimiento a mis profesores, por sus enseñanzas que me sirvieron para mejorar en mi formación como docente y para organizar adecuadamente la información de esta tesis. Asimismo, agradezco aquellos compañeros, que me apoyaron a lo largo de los cursos de la maestría, con sus comentarios acertados y de buena voluntad, en cada uno de los cursos.

Por otro lado, agradezco a mis sinodales y jurados por la revisión y las sugerencias que atinadamente me hicieron, las cuales me sirvieron para conformar adecuadamente este trabajo de tesis.

También agradezco a mi esposo e hija por su comprensión y apoyo, al darme alientos en los momentos difíciles de esta maestría.

Por último, agradezco de una manera muy especial a la D.G.A.P.A. de la UNAM, por la gran oportunidad que me brindó para mejorar en mi formación como docente, al apoyarme con el programa PASPA en la realización de estos estudios de maestría.

# Í N D I C E

INTRODUCCIÓN.....	6
-------------------	---

## CAPÍTULO I

PROPÓSITOS.....	9
-----------------	---

## CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN ACADÉMICA.....	11
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA.....	12
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN ESTUDIANTEL ATENDIDA EN EL BACHILLERATO.....	17

## CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO.....	25
3.1 PROBLEMAS QUE SE UTILIZAN EN LA ENSEÑANZA.....	25
3.1.1 CLASIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA.....	26
3.2 APRENDIZAJE EN LA ACCIÓN.....	28
3.3 MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	31
3.3.1 MÉTODO DE WOODS.....	32
3.3.2 MÉTODO DE POLYA.....	34
3.3.3 MÉTODO DE GIL.....	35
3.3.4 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ESTOS MÉTODOS.....	36
3.4 EL MÉTODO TADIR.....	38
3.5 EL MÉTODO ABP.....	43
3.6 RELACIÓN DEL ABP CON EL TADIR.....	51
3.6.1 ETAPA DE TRADUCCIÓN DE UN PROBLEMA-PISTAS.....	51
3.6.2 ETAPA DE ANÁLISIS -HIPÓTESIS EN EL ABP.....	52
3.6.3 ETAPA DE DISEÑO-DETECCIÓN DE LOS PROBLEMAS.....	52

3.6.4 ETAPA DE INSTRUMENTACIÓN-ÁREAS O TEMAS.....	53
3.6.5 ETAPA DE REVISIÓN-FUENTES DE INFORMACIÓN O CONSULTA.....	53

#### CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA.....	54
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS.....	55
4.2 APLICACIÓN DEL ABP Y EL MÉTODO TADIR EN EL AULA.....	56

#### CAPÍTULO V

DISEÑO Y SOLUCIÓN DE SITUACIONES ABP Y PROBLEMAS DE FÍSICA MODERNA RESUELTOS SEGÚN EL MÉTODO TADIR.....	61
5.1 PROBLEMAS REFERIDOS A LA RADIACIÓN DEL CUERPO NEGRO... 65	
5.1.1 SITUACIONES ABP APLICADAS EN ESTE TEMA.....	65
5.1.2 PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA.....	71
5.2 PROBLEMAS REFERIDOS AL EFECTO FOTOELÉCTRICO.....	86
5.2.1 SITUACIÓN ABP APLICADA EN ESTE TEMA.....	86
5.2.2 PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA.....	89
5.3 PROBLEMAS REFERIDOS AL MODELO DE BOHR.....	102
5.3.1 SITUACIÓN ABP APLICADA EN ESTE TEMA.....	102
5.3.2 PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA.....	104

#### CAPÍTULO VI

RESULTADOS EN EL AULA.....	116
6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES I, II Y III.....	116
6.2 RESULTADOS OBTENIDOS.....	118
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	122
CONCLUSIONES.....	133

## APÉNDICE

A) DESARROLLO DE LA PRÁCTICA DOCENTE III.....	138
B) EJEMPLOS DE EXÁMENES Y PROBLEMAS RESUELTOS POR LOS ALUMNOS.....	144
C) PROBLEMAS REFERIDOS A LA RELATIVIDAD ESPECIAL.....	157
1. PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA.....	157
D) LISTAS DE CALIFICACIONES.....	171
1. LISTA DE CALIFICACIONES DEL GRUPO 303-B.....	171
2. LISTA DE CALIFICACIONES DEL GRUPO 424-B.....	172
3. LISTA DE CALIFICACIONES DEL GRUPO 603-I.....	173
BIBLIOGRAFÍA.....	174

## INTRODUCCIÓN

Esta tesis fue estructurada en seis capítulos, con el fin de mostrar la utilidad del método ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) y del método TADIR (Traducción, Análisis, Diseño, Instrumentación y Revisión) en la solución de problemas de Física Moderna como estrategias de enseñanza que orientan a los alumnos a iniciarse en la solución de problemas. A continuación se describe el contenido de esta tesis.

En el primer capítulo se establecen los propósitos de la tesis, justificando la necesidad de aplicar los métodos de solución de problemas, haciendo énfasis en el uso del TADIR combinado con el ABP como estrategias en la enseñanza de la Física de Bachillerato, para coadyuvar el problema que tienen los alumnos en el aprendizaje de este tipo de ciencia.

En el capítulo II se presenta la fundamentación académica, en la cual se hace el planteamiento del problema sobre el cual se desarrolla el trabajo de tesis. Después, se enuncian los antecedentes de la aplicación de la resolución de problemas en la enseñanza. Para finalizar se hace una descripción de las características de la población estudiantil atendida en el ciclo del Bachillerato, considerando importante que los alumnos están en la etapa de la adolescencia y que esto de alguna manera influye en el proceso de enseñanza-aprendizaje que se da en el aula.

En el capítulo III se desarrolla el marco teórico, en el que primero se presenta la técnica de Aprendizaje en la Acción, porque surge antes de los dos métodos tratados en esta tesis y resulta de gran utilidad en la organización de las actividades o tareas asignadas al grupo. Después, se establecen los métodos de solución de problemas debidos a autores tales como Woods, Polya y Gil.

Posteriormente, se describen el método TADIR y el ABP. Al final del capítulo se establece de manera general su relación entre ellos, esto con el propósito de que se identifiquen las pistas y las hipótesis con la primera y la segunda etapa del TADIR, así como se identifiquen tanto la detección de los problemas como las áreas o temas de estudio y las fuentes de información con las tres últimas etapas del TADIR.

En el capítulo IV se presenta la metodología, la cual se enuncia en una serie de cinco pasos a seguir para llevar a cabo el problema planteado, después se enuncian las actividades realizadas para el desarrollo de este trabajo. Para finalizar este capítulo, se establece la aplicación del ABP y el TADIR en el aula durante las prácticas docentes, considerando al profesor como un facilitador o guía en el proceso de enseñanza-aprendizaje y justificando por qué se utilizó primero el ABP y después el TADIR en la solución de problemas.

En el capítulo V se presenta el diseño de situaciones ABP y los problemas de Física Moderna cuya solución se establece según el método TADIR, adaptados a nivel Bachillerato.

Dichos problemas y situaciones presentadas en este capítulo, fueron aplicados en el aula durante las Prácticas Docentes II y III y son referidos a los temas de: Efecto Fotoeléctrico, Radiación del Cuerpo Negro y Modelo de Bohr.

En el capítulo VI se describen las actividades desarrolladas durante las Prácticas Docentes I, II y III, tomando en cuenta los informes que se hicieron de éstas. Asimismo, en este capítulo se hace un reporte de los resultados obtenidos al aplicar situaciones ABP y al aplicar el método TADIR en la resolución de los problemas, de los temas de Física Moderna seleccionados. Tomando en cuenta estos resultados se hace un análisis, un tanto cualitativo, de la aceptación del ABP y del método TADIR en los grupos asignados en estas prácticas docentes.

Al final de este capítulo se muestran varios ejemplos de problemas resueltos por alumnos, analizando cómo los resolvieron y estableciendo cuáles fueron las etapas del TADIR, que más utilizaron en el proceso de solución de los problemas.

Por último, se presentan las conclusiones de la tesis, para establecer los alcances de este trabajo y la utilidad del método TADIR combinado con el ABP en la enseñanza de la Física Moderna. Además, se presentan algunas sugerencias para extender este trabajo, considerando las limitaciones que se tienen.

En el Apéndice A se presenta el informe del desarrollo de la Práctica Docente III, con la finalidad de ejemplificar, cómo fueron las actividades de las prácticas docentes, al aplicar el ABP y el TADIR en la solución de problemas.

En el Apéndice B se analizan más ejemplos de exámenes con problemas resueltos por los alumnos, para observar cómo manejan el ABP y el TADIR en la solución de problemas de Física Moderna. Asimismo, al final de éste se presenta un examen diagnóstico resuelto por un alumno.

Después, en el Apéndice C, se presentan problemas referidos al tema de Relatividad Especial, los cuales son resueltos aplicando el método TADIR. No obstante, que dichos problemas no fueron aplicados en el aula, se consideró conveniente presentarlos, por ser útiles en el desarrollo de este tema de Física Moderna a nivel Bachillerato.

En el último apéndice, se presentan las listas de calificaciones de los grupos, asignados en las prácticas docentes.

## **CAPÍTULO I**

### **PROPÓSITOS**

La gran problemática por la que atraviesa la educación, especialmente en la enseñanza de la Física en nuestro país y en el mundo, han dado la pauta para intentar algunas alternativas de solución, como son el uso de estrategias de enseñanza en el aula.

La adopción y adaptación de estrategias de enseñanza, para que los alumnos puedan resolver problemas y aprender los conceptos de la asignatura de Física de Bachillerato, representa una gran tarea para el profesor.

La resolución de problemas en la enseñanza de la Física requiere dedicarle gran parte del tiempo escolar, ya que los problemas pueden ser un medio para detectar las concepciones alternativas y algunas veces propiciar un cambio conceptual en los alumnos. Además, éstos son incluidos en los exámenes<sup>1</sup> y permiten al docente detectar fallas o aciertos de los alumnos, en el aprendizaje de los contenidos. De aquí la necesidad imperiosa de que los alumnos conozcan algún método efectivo, para resolverlos, que facilite el aprendizaje de la Física, de manera sencilla, sistemática y práctica.

Es por esto, que en este trabajo de tesis se elaboraron algunos problemas de Física Moderna, con enunciados fáciles de interpretar y solucionar de acuerdo al método TADIR y algunas situaciones para resolver con el ABP, para que despierten en los alumnos su interés, curiosidad y creatividad.

Por otra parte, es preciso señalar que este trabajo tiene dos propósitos principales, primero aplicar TADIR y el ABP en la resolución de problemas de Física Moderna, tratando de contribuir a eliminar algunas dificultades existentes en

---

<sup>1</sup> Siendo éstos uno de los instrumentos de evaluación más importantes dentro del aula.

el aula, en lo que se refiere al aprendizaje de la Física y segundo detectar la aceptación del ABP y TADIR, por los alumnos, para establecer cualitativamente, en que medida son aplicables en la enseñanza de la Física Moderna de Bachillerato.

Con la aplicación del ABP como medio para identificar las pistas en una situación determinada, el alumno podrá fácilmente reconocer cómo establecer la traducción de un problema cuando está aplicando el TADIR, lo cual le permitirá hacer una interpretación del enunciado del problema, pasando del lenguaje científico, en el que normalmente se presenta el problema, al lenguaje natural, con el que usualmente razonamos. Lo anterior puede ser posible, gracias a que se logró establecer una relación entre el método TADIR y el ABP, haciendo viable la aplicación de ambos en el desarrollo de los temas de Física Moderna a nivel Bachillerato.

Además, el TADIR y el ABP podrían ser de gran utilidad a los alumnos, para que se inicien en el conocimiento de la investigación, ya que éstos establecen un proceso que permite ahondar en los conceptos.

Por otro lado, en el desarrollo de las actividades con los alumnos, durante las prácticas docentes, la aplicación del ABP y TADIR, podría permitir establecer algunas diferencias, si es que las hay en el desempeño de ellos y contrastar los subsistemas de Bachillerato de la UNAM, asimismo establecer la respuesta a varias preguntas críticas: ¿qué saben acerca de la solución de esos problemas? y ¿cómo aprueban los exámenes?

Por último, se puede decir que a pesar de existir demasiados retos por superar, para aminorar la problemática de la enseñanza de la Física en México, algo podría ayudar a disminuirla, si utilizamos algunas estrategias de enseñanza-aprendizaje en el aula, tales como el ABP y TADIR combinados con otras, para impulsar a los alumnos de Bachillerato a aprender Física.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN ACADÉMICA**

En este capítulo primero se delimita el problema que se está tratando en esta tesis, el cual gira alrededor de los métodos ABP y TADIR en la resolución de problemas de Física Moderna a nivel Bachillerato.

Después, se establecen los antecedentes de la aplicación de la resolución de problemas en la enseñanza, haciendo referencia de algunos autores que se han dedicado a la aplicación de problemas en la enseñanza de ésta y a la búsqueda de métodos de resolución.

Posteriormente, se hace una reflexión sobre lo que significa la adolescencia, debido a que los alumnos de Bachillerato están pasando por esta etapa de la vida. Además, se establecen las características del pensamiento formal en los adolescentes. Esto con el fin de caracterizar a la población estudiantil del Bachillerato, lo cual nos permitirá conocer sus deficiencias, así como los factores que influyen en su aprendizaje dentro del aula.

#### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La enseñanza de la ciencia, y en particular la enseñanza de la Física, requiere de múltiples estrategias para que sea aprendida por los alumnos de Bachillerato. Una de éstas ha sido fundamentalmente el aplicar la resolución de problemas, para que los alumnos aprendan conceptos a través del proceso de solución.

La aplicación de resolución de problemas en la asignatura de Física de Bachillerato, ha demostrado ser de gran utilidad, tanto para los alumnos, en el aprendizaje de los temas, como para el docente en la evaluación de los estudiantes.

Por otra parte, se ha observado que es importante utilizar un método de solución, para superar las dificultades que se presentan cuando se intenta resolver un problema de Física.

El problema que se plantea en esta tesis es la aplicación de dos métodos, ABP y TADIR en la solución de problemas de Física Moderna a Nivel Bachillerato, para detectar que tan útiles son como estrategias de enseñanza, establecer cuáles son las condiciones en las que pueden ser aplicables en el aula y analizar su aceptación por los alumnos.

Los temas de Física Moderna a Nivel Bachillerato tratados en esta tesis son: Radiación del Cuerpo Negro, Efecto Fotoeléctrico, Modelo de Bohr y Relatividad Especial.

Los resultados obtenidos en la aplicación de estos métodos en el aula, se consideran del tipo cualitativo, lo cual no les resta importancia, ya que es un punto de partida necesario para un posterior análisis cuantitativo.

Por otro lado, este trabajo será accesible y de utilidad para profesores que deseen emplearlo para desarrollar los temas antes mencionados, al utilizar los problemas y casos aquí diseñados.

## **2.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DE RESOLUCION DE PROBLEMAS EN EL ENSEÑANZA.**

Los problemas considerados en la enseñanza de Física, pretenden favorecer el desarrollo y el aprendizaje de procedimientos, destrezas y actitudes científicas, los

cuales son requeridos en los currículos de esta asignatura en el ciclo de Bachillerato universitario de nuestro país.<sup>2</sup>

Otra aportación que debiera ser importante de los problemas es el promover actividades que ayudan al estudiante a *aprender a aprender*, permitiendo aplicar sus conocimientos a la resolución de problemas de la vida diaria (Pozo et al., 1994) y a desarrollar el pensamiento creativo (Garrett, 1988).

Por otro lado, otros investigadores han detectado que las actividades para la resolución de problemas, no son fáciles para los alumnos. Notándose que los alumnos tienden a abordar los problemas escolares del mismo modo que abordan a los problemas cotidianos, centrando sus esfuerzos en alcanzar el resultado correcto y olvidándose de la comprensión del proceso (Pozo et al., 1994). Otros intentan resolverlos de forma mecánica y operativa, haciendo esfuerzos por encontrar la fórmula adecuada (Mettes et al., 1980) y llegando incluso, en ocasiones, a la solución correcta sin haber entendido lo que han hecho (Gilbert, 1980).

Algunas investigaciones señalan la escasa capacidad de los alumnos para abordar nuevos problemas, diferentes a los resueltos en clase (Gil y Martínez Torregrosa, 1983; Gilbert 1980), debido a las dificultades con la utilización del razonamiento lógico, con la comprensión del enunciado del problema y la representación mental del mismo (Genyey, 1983); asimismo, esto se debe a los conocimientos teóricos implicados en su resolución, que generalmente son insuficientes y están mal estructurados (Garrett, 1987; Kempa, 1986).

Estas dificultades del alumnado en la resolución de problemas justifican la existencia de distintas líneas de investigación al respecto. Una de ellas es la que

---

<sup>2</sup> A lo largo de 15 años de experiencia docente, he observado que los programas de la asignatura de Física del Ciclo de Bachillerato, marcan a la resolución de problemas como uno de los objetivos para que los alumnos adquieran destrezas y habilidades y aprendan los temas de esta asignatura.

se centró en el análisis de cómo los abordan los expertos y los novatos, con el fin de formular modelos útiles para su enseñanza-aprendizaje.

A este respecto Camacho y Good (1989) establecieron una síntesis de distintos trabajos, concluyendo que los expertos dedican tiempo suficiente al análisis del problema (lo que permite realizar la representación de la situación). Además, poseen conocimientos bien coordinados y estructurados que les permiten desarrollar estrategias poderosas de resolución. Asimismo, efectúan una continua revisión del trabajo que están realizando, lo cual les conduce hacer una reflexión.

Los novatos, en cambio, adoptan comportamientos menos reflexivos, basados fundamentalmente en técnicas de ensayo/error, y, en general, no poseen conocimientos teóricos suficientemente estructurados.

Por otra parte, diversas investigaciones se han centrado en el desarrollo de modelos de resolución de problemas, con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Tales modelos son derivados de las propuestas de Polya (1965) y ofrecen un modo sistemático de resolver problemas (Mettes, 1980; Kramers-Pals 1983).

Otros investigadores plantean otro tipo de modelos de resolución de problemas que se fundamentan en la historia, la filosofía de la ciencia y en la visión constructivista del aprendizaje. Estos modelos pretenden abordar los problemas de forma coherente, que está de acuerdo con las características del trabajo científico, favoreciendo la creatividad, la reflexión, la utilización adecuada de la teoría, la formulación de hipótesis y la búsqueda de estrategias, promoviendo en los alumnos el desarrollo del *pensamiento productivo* y una mejora en su capacidad para abordar y resolver problemas. (Caillot y Dumas Carré, 1987; Gil y Martínez Torregrosa, 1983; Lopes, 1996; Watts, 1991; Barojas, 1999).

Algunos autores opinan que la utilización de modelos innovadores en la enseñanza de las ciencias permitiría el desarrollo de importantes procedimientos científicos que no promueven los modelos de resolución tradicionales (Ramírez et al., 1994).

No obstante, las investigaciones realizadas en la resolución de problemas, no se ha tenido una apreciable repercusión en las aulas, donde se sigue empleando una metodología tradicional de enseñanza de los mismos. Dicha metodología se caracteriza por la utilización de problemas-ejercicio, llamados también problemas-tipo, explicados por el profesor a través de una serie de pasos estandarizados que conducen a la solución correcta, para plantear posteriormente otros problemas similares que el alumno debe resolver y que finalmente formarán parte de la evaluación (Dumas-Carré, 1987).

Entre tanto, los problemas contenidos en los libros de texto y especialmente los utilizados por el profesorado, siguen básicamente la misma línea (Garrett et al., 1990; Ramírez et al., 1994). Esta metodología de resolución está de acuerdo con la idea de desproblematizar los problemas (Mettes, 1980), la cual consiste principalmente en la utilización de orientaciones algorítmicas.

En este sentido, la desproblematización favorece la memorización y la aplicación de conocimientos y reglas establecidas, conduciendo a un número reducido de procedimientos científicos. Por lo cual, este tipo de problemas permite alcanzar algunos objetivos muy concretos, siendo claramente insuficientes para conseguir el desarrollo de los distintos tipos de contenidos propuestos actualmente en los currículos de ciencias experimentales del Bachillerato.

En consecuencia, es necesario ampliar la gama de problemas, en cuanto a su contenido y naturaleza, asimismo es importante establecer los requerimientos para su resolución. Además, es imprescindible que se produzca un replanteamiento de las formas tradicionales de enseñanza hacia otras más

efectivas, debido el alto índice de fracasos en la resolución de problemas propuestos en los exámenes (Caballer y Oñorbe, 1997), lo cual requiere de la formación docente. Esta formación debería basarse en la visión constructivista del aprendizaje y tomar como punto de referencia las ideas de los docentes (Briscoe, 1991), las cuales generalmente se corresponden con enfoques metodológicos tradicionales.

Por otro lado, con respecto a la enseñanza-aprendizaje de los problemas de lápiz y papel, una de las ideas comunes del docente<sup>3</sup> es considerar que las dificultades de los alumnos en la resolución de problemas y su gran índice de fracaso radican fundamentalmente en los propios estudiantes por su falta de conocimiento teórico. Aunado a esto, la influencia del proceso de enseñanza es, a menudo, desestimada (Oñorbe y Sánchez, 1996).

Asimismo, hay docentes que consideran que el escaso dominio del cálculo matemático, la incomprensión del enunciado son causas de tal fracaso (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984). Generalmente, esto es más común en el nivel de Bachillerato, porque representa el primer acercamiento serio en el manejo de conceptos físicos para resolver problemas.

Por esto, la formación docente integral<sup>4</sup> favorecería la reflexión en el imprescindible *cambio didáctico* del profesorado, en ejercicio o en formación, a partir del cuestionamiento de sus propias ideas (Furió, 1994; Hewson y Hewson, 1987).

En este proceso juega un papel fundamental el análisis y la reflexión crítica de los planteamientos habituales, con el fin de que los profesores perciban sus deficiencias, para encontrar otras alternativas innovadoras realmente viables (Gil y Pessoa, 1994).

---

<sup>3</sup> En este caso son las ideas del docente centrado en la enseñanza y no en el aprendizaje.

<sup>4</sup> Formación en: el manejo de los temas de la asignatura que imparte, habilidades docentes, estrategias de enseñanza y de aprendizaje, etc.

Esta reflexión crítica permitirá que el docente opte por diferentes tipos de problemas y adapte nuevos métodos innovadores de solución, en función de los objetivos que se pretendan alcanzar en el curso y supere la exclusiva utilización de modelos de resolución algorítmicos que restringen el desarrollo de contenidos científicos. A este respecto, en este trabajo se hace uso del ABP y del TADIR, los cuales promueven tanto el análisis como la reflexión en los alumnos.

Es preciso notar que los dos métodos de solución tratados aquí son estrategias de enseñanza que están dirigidas, en este caso, a alumnos de Bachillerato, para mejorar su aprendizaje de la Física Moderna. Por esto, es también importante conocer las características de estos alumnos, para tener mejores resultados en la aplicación de estos métodos de solución de problemas.

### **2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN ESTUDIANTIL ATENDIDA EN EL BACHILLERATO**

En general, el Bachillerato es el formador y educador de alumnos con edades entre 15 y 19 años. Cabe señalar que uno de los Bachilleratos de este país, es la Escuela Nacional del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)<sup>5</sup>, el cual es un subsistema de la UNAM, cuyo objetivo es formar y educar a los alumnos para que sean útiles, responsables y preparados para servir a su sociedad.

Al considerar las características de la población estudiantil del CCH, se encuentra que en el 2005, la población fue integrada, por el 51.2% de estudiantes del género femenino. Asimismo, se observa que la edad, más común, en los de nuevo ingreso es de 15 años y el promedio de edad de los de último semestre es de 19

---

<sup>5</sup> Menciono al CCH porque es la institución en la cual estoy laborando como docente y fue el lugar donde realicé dos de las prácticas docentes, aplicando los métodos ABP y TADIR a la solución de problemas de Física Moderna.

años (Muñoz Corona, Ávila Antuna y Ávila Ramos, 2005; Muñoz Corona, Ávila Antuna, López Gascón, et. al., 2005).

Debido a la edad de estos alumnos, la cual se encuentra dentro de la etapa de la adolescencia, se deben tener en cuenta muchos factores que podrían influir en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por lo cual, es imprescindible conocer en términos generales que caracteriza a la adolescencia.

La adolescencia puede caracterizarse en su conjunto, como una etapa de transición hacia las formas de comportamiento personal y social propias de la vida adulta, en el cual aparece implicado el dominio de una amplia gama de nuevas potencialidades del comportamiento y de interpretación de la realidad personal, física y social, así como de actuación sobre su realidad.

Uno de los contextos en que los alumnos adolescentes participan de manera habitual, y puede jugar un papel relevante en la actualización de capacidades y en el conjunto de la transición adolescente es el Bachillerato.

Actualmente, el buen desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas de Bachillerato, depende en gran medida de la buena comunicación que exista entre el docente y el alumno.

Para lograr una buena comunicación entre el docente y alumno se necesitan considerar diversos factores externos al Bachillerato, como son la influencia del entorno tanto social como familiar que vive el estudiante y los cambios que experimenta (físicos y emocionales). En este sentido, el apoyo afectivo que brinda la familia, resulta favorable para facilitar el desarrollo y adaptación del adolescente en el ámbito escolar. La comunicación entre padres e hijos es importante en esta etapa, si los padres se muestran atentos y receptivos ante las preocupaciones de sus hijos y les proporcionan apoyo e información, esto les permitirá desarrollar habilidades útiles.

En cambio, si los padres se muestran de forma fría y excesivamente controladora con sus hijos adolescentes, como ocurre entre los padres autoritarios, suele ocurrir que ellos se muestran obedientes y conformistas, pero a largo plazo, tienden a rebelarse, a orientarse en exceso hacia los amigos y a olvidar el deber que tienen como estudiantes.

Si los padres son permisivos van a presentar una relación cálida y afectuosa con sus hijos, presentando un déficit de control de su conducta, lo que se va a relacionar con falta de esfuerzo, problemas de conducta y consumo de alcohol o droga. Si el adolescente vive con padres separados, habrá otra tensión que dificultará la aceptación.

Asimismo, la relación con los iguales se convierte en el contexto de socialización más influyente en esta etapa. Las relaciones con los amigos, sobre todo, van a constituir una experiencia muy gratificante que enriquecerá la vida del adolescente, pareciendo que los iguales están muy por encima de los padres, lo cual no es así, sino que representan influencias complementarias que satisfacen diferentes necesidades del adolescente, es decir, esto refleja que el grupo de amigos va a constituir un contexto para su desarrollo en esa etapa porque evolucionará de acuerdo a las relaciones establecidas entre ellos.

Además, este estudiante adolescente inicia una búsqueda de su identidad tanto sexual como vocacional, estando en conflicto con los adultos es capaz de manifestarse como un crítico de las acciones de éstos, adoptando una actitud de desafío hacia el docente. Estos conflictos propios de esta etapa, son algunas veces mal interpretados, porque el docente al notar esta actitud del adolescente, espera que se comporte como adulto, esta situación podría influir de manera decisiva en la relación alumno-docente, creando un ambiente no apto para el éxito del proceso de enseñanza–aprendizaje.

Esto nos hace reflexionar acerca de este alumno, el cual es un ser humano con carencias, que podrían ser de salud del tipo física, social o psicológica; es decir, podría habitar en un entorno no saludable, que lo perjudicara y lo condujera a no poder desarrollar en forma óptima sus aptitudes y sus habilidades como estudiante.

Por otro lado, si el alumno de Bachillerato cursa asignaturas de ciencias experimentales, éste requiere tener un grado de desarrollo en sus operaciones formales. A continuación se considera a Piaget para describir el pensamiento formal y el desarrollo de operaciones formales en el alumno adolescente, porque él hizo una investigación muy completa acerca de éstas.

A este respecto, Piaget (1921 y 1922) en sus primeras obras, dedicadas al desarrollo de la inteligencia principalmente verbal, sostiene que una de las características del pensamiento infantil es la *incapacidad* para el razonamiento formal, entendiendo por éste, el razonamiento sobre proposiciones y no sobre objetos reales.

Hasta los años 40, Piaget considera que algunas características generales del pensamiento formal sólo se fundamentan mediante las experiencias de tipo verbal (Piaget, 1941 y 1947). Las obras fundamentales al respecto datan de la primera mitad de la década de los cincuenta (Piaget e Inhelder, 1951; Inhelder y Piaget, 1955).

Las nuevas investigaciones sobre el pensamiento lógico, no necesariamente verbal, empiezan a mostrar con precisión las características estructurales del pensamiento formal que se describen en detalle en la obra de 1955 (Piaget e Inhelder, 1955).

De acuerdo a Piaget, el individuo que manifiesta un pensamiento formal y manejo de la combinatoria puede:

1. Aceptar los supuestos subyacentes de un argumento.
2. Elaborar una sucesión de hipótesis.
3. Observar y abstraer las propiedades generales de los eventos.
4. Ir más allá de lo tangible, lo finito y lo familiar.
5. Ser consciente de su propio pensamiento, reflexionar sobre éste y tener madurez metacognoscitiva.
6. Tratar con una amplia variedad de esquemas o relaciones complejas.

La construcción del pensamiento formal depende de cuatro factores principales:

1. La maduración del sistema nervioso.
2. La experiencia adquirida en función del medio físico o de oportunidades de ejecución.
3. La acción o influencia del medio social.
4. La asimilación y acomodación.

La velocidad del desarrollo cognoscitivo, especialmente del pensamiento formal, varía considerablemente de un sujeto a otro y de un ambiente sociocultural y educativo estimulante a otro que no lo es.

Cabe señalar que las características funcionales del pensamiento formal son:

- Lo real es concebido como un subconjunto de lo posible.

Esta característica establece que el individuo puede concebir situaciones posibles adicionales, pero siempre como una prolongación de lo real y probablemente después de tanteos empíricos.

Por el contrario, el sujeto de este estadio suele enfocar la resolución de un problema invocando todas las situaciones y relaciones causales posibles entre sus elementos. Relaciones que más tarde tratará de confrontar con la realidad mediante la experimentación y que analizará lógicamente.

Se puede decir entonces, que si en la etapa de las operaciones concretas lo posible está subordinado a lo real, en el estadio de las operaciones formales es lo real lo que está subordinado a lo posible.

Inhelder y Piaget hacen la distinción entre lo *materialmente posible* y lo *estructuralmente posible* (Piaget e Inhelder, 1955). Lo primero vendría a ser las operaciones que el sujeto lleva a cabo, así como las que no llega a realizar pero tiene en cuenta. Lo segundo serían todas las operaciones y relaciones que el sujeto sería capaz de realizar pero sin que tuviera conciencia de ello.

En las investigaciones de la Escuela de Ginebra (Piaget, 1976 y 1978) se muestra una reorientación y ampliación del estudio de lo posible a partir de la perspectiva funcional (procedural) inaugurada por B. Inhelder (1978). Estos estudios han permitido confirmar las estrechas relaciones entre lo posible y el pensamiento formal, además han extendido la investigación de lo posible desde los 4 o 5 años hasta la etapa de las operaciones formales, distinguiendo cuatro tipos de posible en cualquier edad: lo posible hipotético, lo posible actualizable, lo posible deducible y lo posible exigible.

- Carácter hipotético-deductivo.

Los sujetos de esta etapa abordan un problema concibiendo casi todas las relaciones posibles entre sus elementos, a través de las hipótesis que son capaces de someter a prueba para ver si se confirman o no, y aceptarlas o desecharlas según sea el caso. Pero esta capacidad de prueba no se reduce a una o dos hipótesis, sino que se lleva a cabo en varias de ellas simultánea o sucesivamente.

En el análisis cumple un papel fundamental la adquisición del llamado esquema de control de variables, el cual consiste en aplicar la estrategia de mantener

constantes todos los factores de un problema menos uno, que se va variando sistemáticamente.

El manejo de hipótesis que realizan los adolescentes se compone de tres fases:

1. Eliminación de las hipótesis admitidas hasta un cierto momento.
2. Construcción de nuevas hipótesis.
3. Verificación de la nueva hipótesis.

- Carácter proposicional.

Los sujetos de este estadio expresan las hipótesis mediante afirmaciones o enunciados que las representan. Asimismo, además de expresarlas, razonan sobre ellas (y sobre los resultados de sus pruebas convertidas también en proposiciones) de una forma deductiva, ya que las someten a un análisis lógico, utilizando diversas formas de expresión como la disyunción, la implicación, la exclusión y otras operaciones lógicas.

El logro de las operaciones formales le permite al adolescente contar con una nueva forma de manipular la información. La capacidad para pensar en forma abstracta también tiene ramificaciones emocionales.

Según Piaget, los cambios internos y externos en la vida de los adolescentes se combinan para llegar a la madurez cognoscitiva. El cerebro ha madurado y el ambiente social se ha ampliado, ofreciendo más oportunidades para experimentar.

Estas tres características del pensamiento formal son importantes que las conozca el docente de Bachillerato, ya que le permitirá aplicar los métodos de solución de problemas en el aula con mejores resultados.

Por otro lado, el contexto familiar y el comportamiento del alumno, exige que el docente tenga una verdadera visión sistémica, que contemple las relaciones entre todos los elementos que desde dentro o desde fuera de ese contexto están

conectados en la vida de este alumno de Bachillerato, ya que este alumno tendrá los mismos valores de su familia, lo cual podría influir negativamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del aula.

Por lo tanto, el conocimiento de la problemática del adolescente permitirá al docente de Física hacer una conducción adecuada del proceso enseñanza-aprendizaje, aprovechando algunos factores como la socialización de los alumnos con sus iguales y su grado de alcance en las operaciones formales, para establecer una mejor comunicación con sus alumnos, dando origen a una mejor armonía de trabajo en el aula, lo cual facilitará la implementación de estrategias de enseñanza tales como el método de solución de problemas TADIR, el ABP u otras, para la enseñanza de la Física, en todos los temas y especialmente en los de Física Moderna. Todo esto con la finalidad de que el proceso de enseñanza-aprendizaje tenga éxito y para que los alumnos además de aprender puedan aprobar el curso.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

La enseñanza de la Física a través de la resolución de problemas resulta valiosa porque al adoptar un método para resolverlos, el alumno se motiva, promoviéndose en él la adquisición de conocimientos estructurados y contextualizados; es decir, le ayuda a obtener y aplicar conocimientos significativos y a desarrollar habilidades para explicar las distintas soluciones.

Considerando al TADIR y el ABP, como dos métodos que podrían resultar de utilidad en la enseñanza de los temas de Física Moderna a nivel Bachillerato, es que fueron aplicados en las Prácticas Docentes II y III.

Para conocer las diferentes clasificaciones de los problemas, en qué consisten los métodos de resolución que aplicaremos y cuáles son sus orígenes es que en este capítulo se presenta primero los tipos de problemas que se utilizan en la enseñanza, después, se describe la técnica de Aprendizaje en la Acción, luego se establece los métodos de solución de problemas: Woods, Polya y Gil, por considerar que son antecesores del TADIR. Asimismo, se establece una comparación de las estrategias de estos tres. Posteriormente, se describen el método TADIR y el ABP, además se ve la relación que hay entre sus etapas.

#### 3.1 PROBLEMAS QUE SE UTILIZAN EN LA ENSEÑANZA

Existen diversas definiciones sobre el término problema, que fueron establecidas por algunos personajes, entre ellos destacan Aristóteles<sup>1</sup>, Kant<sup>2</sup> y Leibnitz<sup>3</sup>. En la

---

<sup>1</sup>Aristóteles define: “Problema es un procedimiento dialéctico que tiende a la elección o al rechazo o también a la verdad y al conocimiento”.

<sup>2</sup>Kant define: “Problemas son proposiciones demostrativas que necesitan pruebas o son tales como para expresar una acción cuyo modo de realización no es inmediatamente cierto”.

actualidad se considera que un *problema*<sup>4</sup> es el conjunto de obstáculos que se presentan en la vida, que impiden el logro o la obtención de una meta, es decir, el alcance de uno o varios objetivos.

La resolución de problemas de lápiz y papel es una actividad habitual en la clase de ciencias, cuyo valor formativo es reconocido por el profesorado, (Garrett, 1986), ésta afianza y promueve el conocimiento de los estudiantes porque permite aplicar los aspectos teóricos a situaciones prácticas específicas (Pozo et al., 1995; Selvaratnman, 1983).

Considerando la importancia que tienen los problemas en la enseñanza de la ciencia (en especial en la enseñanza de la Física), se presentan en esta sección distintas clasificaciones que se han hecho de ellos, asimismo se mencionan las aportaciones de algunos investigadores, los cuales se han dedicado a establecer modelos para resolver estos problemas.

### 3.1.1 CLASIFICACION DE LOS PROBLEMAS UTILIZADOS EN LA ENSEÑANZA

Hay diferentes tipos de problemas en el ámbito escolar, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios. A continuación se presentan algunas de estas clasificaciones.

Por ejemplo, Perales (1993) considera tres categorías, estableciendo diversos tipos de problemas, las cuales son:

1. De acuerdo al área de conocimiento aplicado, él establece dos tipos:

- Los problemas *cotidianos*.
- Los problemas *académicos*.

---

<sup>3</sup> Leibnitz define: “Por problema los matemáticos entienden las cuestiones que dejan en blanco una parte de la proposición”.

<sup>4</sup> En Física consideraremos que la definición de Kant, es la más aproximada para este término.

2. De acuerdo al tipo de tarea, él distingue:

- Los problemas *cuantitativos*, los cuales requieren la determinación de valores numéricos.
- Los problemas *cualitativos*, los cuales son centrados en la interpretación científica de fenómenos reales, éstos son definidos como cuestiones.

3. Considerando la naturaleza del enunciado y las características del proceso de resolución, él establece:

- Los problemas *cerrados*, los cuales son fácilmente solubles mediante la utilización de determinados algoritmos.
- Los problemas *abiertos*, los cuales requieren de la reflexión para el diseño de estrategias de resolución.

Por otra parte, Garrett (1988) establece dos tipos de problemas:

1. Ejercicios (puzzles).
2. Problemas verdaderos, en función de los intereses y conocimientos del que los resuelve.

Los primeros conducen al reconocimiento y reproducción y los segundos suponen un proceso de construcción (Dumas-Carré y Larcher, 1987).

Por otro lado, Caballer y Oñorbe (1997), hacen una clasificación de los problemas tomando en cuenta distintos fines educativos:

1. Problemas-cuestiones, los cuales tienen el fin de reforzar y aplicar la teoría.
2. Problemas-ejercicio, los cuales tienen como fin el aprendizaje de métodos de solución ya establecidos que permitan alcanzar una solución correcta.
3. Problemas-investigación, los cuales incluyen actividades de laboratorio, útiles para el desarrollo de procedimientos y actitudes hacia la ciencia y sus métodos de trabajo para el aprendizaje de la Física a nivel Bachillerato.

Por su parte, Watts (1991) establece dos tipos de problemas:

1. Los PS1 (problem-solving 1).
2. Los problemas PS2 (problem-solving 2).

Los PS1 incluyen a los relacionados con problemas académicos de la clase de ciencias, los cuales tienen enunciados bien definidos y con un esquema de resolución basado en procesos puramente intelectuales. En contraste con los PS2 que son más generales, por ser del tipo cualitativo, con situaciones cercanas a la realidad; éstos pueden requerir de práctica experimental; siendo el objetivo principal de éstos el desarrollo de estrategias de resolución, implicando lo cognitivo, manipulativo y afectivo.

### **3.2 APRENDIZAJE EN LA ACCION**

No obstante que la técnica de Aprendizaje en la Acción está contemplada en la metodología del ABP y de alguna manera también el TADIR la considera en la organización de las actividades para la solución de problemas, es necesario describirla por separado porque ésta surge antes de estos métodos.

El Aprendizaje en la Acción (AA) es una técnica que ayuda a solucionar problemas, haciendo trabajo de grupo. Su autor, el físico Reg Revans, pensó hacer más sencillo el proceso para llegar a la solución de los problemas, debido a la falta de métodos para llegar a la solución de los mismos y la carencia de técnicas para aprender en equipo. Él desarrolló y aplicó esta técnica en diferentes lugares (haciendo algunos ajustes), tales como en un hospital (1972), en empresas, e incluso la probó en educación.

La técnica AA utilizada en el aula es una forma de aprender a aplicar estrategias de integración de grupo para resolver problemas, pero es preciso insistir que nadie debe conocer la respuesta de los problemas en el momento que se inicia la resolución. Por lo cual, tales problemas deben ser de no técnicos o por lo menos, no especializados (demasiada especialización limita la contribución del equipo).

Incluso, encontrar una solución, no define la resolución de este problema, porque la técnica permite diferenciar las respuestas de los equipos, comparando las soluciones de cada uno de éstos, lo cual permite que todos participen para que el proceso de aprendizaje se maximice, permitiendo que la evaluación se realice basándose en la funcionalidad de las soluciones de estos problemas, en vez de considerar un resultado numérico predeterminado.

Por supuesto, este proceso puede imponer limitaciones ante la naturaleza de los problemas abordados, debido a que los participantes necesitan tener cierto interés en encontrar la solución.

Por otro parte, la técnica también permite que cada alumno pueda aportar problemas que haya encontrado al tratar de resolver el problema inicial; asimismo, permite que cada alumno aprenda de los demás participantes, cuando entre ellos se explican las dudas que van saliendo al estar resolviendo los problemas. Cabe mencionar que todos los miembros del equipo tienen la misma importancia.

El número de participantes que trabajan juntos en el Aprendizaje en Acción debe ser de cuatro a seis, debiendo fungir uno como representante, para regular las actividades. Todos pueden trabajar en el mismo problema, en equipo, o cada uno puede tener sus propios problemas o simplemente trabajar como sistema.

El proceso inicia cuando cada alumno intenta resolver un problema, lo pone en acción, observa qué sucede, toma tiempo para reflexionar<sup>5</sup>, revisa el plan, cuando sea necesario y después actúa. Esto se puede convertir en un ciclo, el cual se repite desde que el alumno observa hasta cuando actúa y logra tener resultados concretos que lo conduzcan a una solución del problema, dicho ciclo se puede esquematizar en la figura 1 .

---

<sup>5</sup> La reflexión no necesita ser un proceso complejo. Puede ser que consista simplemente de momentos para pensar o de una conversación en el descanso.

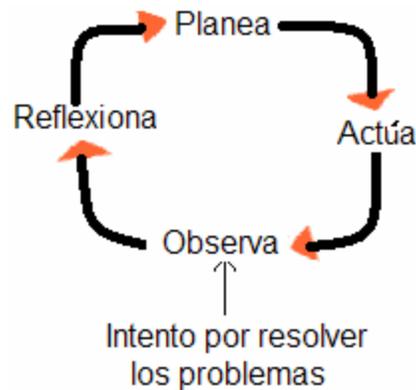


Fig. 1. Ciclo de aprender en la acción.

Cabe señalar que en esta técnica se debe considerar que:

- El equipo regularmente intercambia opiniones, dependiendo de la proporción de participantes y del tiempo que estén trabajando en el(los) problema(s).
- En la mayoría de las reuniones los miembros individuales presentan una actualización de su trabajo, y entonces son cuestionados por sus compañeros o miembros, es decir, éstos actúan como consultores o como mentores.
- El preguntar se considera parte fundamental en esta técnica, promoviendo la reflexión y el planeamiento. Esto proporciona una estructura útil para el aprendizaje.
- En la conclusión individual, cada miembro esboza un plan de acción para discutir los resultados en la próxima reunión con su equipo.

Esta técnica podría resultar un medio eficaz para garantizar el buen funcionamiento del grupo trabajando en equipo, asegurando la atención continuada del alumno y el mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje.

### 3.3 MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la vida diaria nos enfrentamos continuamente con la necesidad de resolver problemas, es decir, necesitamos pensar para superar los obstáculos que nos encontramos a la hora de actuar para conseguir un objetivo. Lo mismo pasa en el aula, para los alumnos resulta difícil interpretar y resolver los problemas que se les presentan en las distintas asignaturas, en especial en la de Física y muy particularmente en los temas de Física Moderna, por ser poco desarrollados en el Bachillerato.

Para que el alumno refleje los conceptos físicos aprendidos en un examen, integrado por problemas, conviene que con anterioridad en clase se hayan desarrollado ejemplos que expliquen y modelen el proceso de solución de problemas, en donde se describan con detalle la serie de pasos y sus justificaciones para llegar a la solución de los mismos.

Una clave para establecer las distintas soluciones de los problemas es el método que se utilice para resolverlos. Es por esto que nos interesa desarrollar primordialmente dos métodos de solución de problemas.

Por otro lado, muchos investigadores consideran que la solución de problemas se puede utilizar como una estrategia de enseñanza, que evite la repetición o la imitación, por lo cual se han ocupado de diseñar diversos métodos de solución de problemas.

A continuación se hace la descripción de tres métodos de solución de problemas: Método de Woods, Método de Polya y Método de Gil.

### 3.3.1 MÉTODO DE WOODS

Woods establece en su método<sup>6</sup> que los alumnos tendrán que desarrollar capacidades después de considerar la situación planteada por el enunciado de un problema, para realizar las siguientes tareas:

- *“ Identificar correctamente las incógnitas o metas.*
- *Dibujar los diagramas que ayuden a entender la situación.*
- *Delimitar apropiadamente el sistema al cual corresponde la información proporcionada.*
- *Precisar las constricciones que se aplican al problema, tanto las que son explícitas en el enunciado como las que se encuentran implícitas.*
- *Seleccionar las suposiciones y simplificaciones que deban hacerse.*
- *Especificar palabras clave que actúen como disparadores de suposiciones o de conocimientos básicos que ayuden a encontrar la solución.*
- *Determinar en dónde se está respecto de la solución y hacia dónde se debe ir, aclarando cuáles son los principales obstáculos que podrán impedir transitar de la situación inicial del problema (el enunciado) a la situación final (la solución).*

---

<sup>6</sup> Woods propuso este método en 1989.

Woods propone utilizar la siguiente estrategia de seis pasos:

1. *Leer la situación descrita por el enunciado. Controlar la tensión o estrés. Motivarse para resolver el problema.*
2. *Analizar los términos que aparecen en el problema. Revisar significados. Separar metas, constricciones, criterios y datos.*
3. *Crear una representación interna. Explorar la situación y crear modelos internos que permitan explicar con claridad la situación.*
4. *Formular un plan.*
5. *Actuar.*
6. *Volver al inicio y revisar.”<sup>7</sup>*

---

<sup>7</sup> Tomado de las notas realizadas por Jorge Barojas Weber, para el diplomado del PAAS VIII, 2001.

### 3.3.2 MÉTODO DE POLYA

George Polya<sup>8</sup> para involucrar a sus estudiantes en la solución de problemas, generalizó su método<sup>9</sup>, considerando cuatro pasos:

1. Entender el problema.
2. Establecer un plan.
3. Desarrollar el plan.
4. Revisar todo el proceso.

Polya supone que el maestro, al abordar problemas específicos, puede inducir a sus alumnos a:

- Descomponer el problema principal en subproblemas secundarios más sencillos.
- Resolver los problemas más sencillos que denoten distintos aspectos del problema principal.
- Usar diagramas para representar un mismo problema bajo diferentes formas.
- Revisar casos especiales del problema principal para tener una idea más completa del mismo. (Barojas, 2000).

---

<sup>8</sup> Nació en Hungría en 1887.

<sup>9</sup> Polya supone este método en 1945.

### 3.3.3 MÉTODO DE GIL

“Este método consiste en seguir los siguientes 4 pasos:

1. *Presentación y discusión del enunciado del problema (interpretación en términos propios del estudiante, auxiliándose de dibujos simplificados que ayuden a describir gráficamente la situación cuando sea necesario).*
2. *Recolección de información relevante y análisis de la misma, lo cual puede requerir de la realización de experimentos para obtener e interpretar datos y además, precisar reglas, definiciones o relaciones que sean pertinentes para abordar la solución.*
3. *Proposición de un esquema de la solución, representación diagramática de sus elementos y justificación (oral o escrita) de sus etapas de desarrollo.*
4. *Puesta en práctica de la solución propuesta (empleo de algoritmos o de técnicas matemáticas precisas) y revisión e interpretación del significado y consecuencias de cada una de las partes de todo el proceso y de su acertada integración para obtener los resultados.”<sup>10</sup>*

---

<sup>10</sup> Esto fue tomado de las notas realizadas por Jorge Barojas Weber, para el diplomado del PAAS VIII en 2001.

## 3.3.4 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ESTOS MÉTODOS

Con los métodos ya descritos, podemos hacer una comparación de sus características, al observar la figura 2 que sintetiza las estrategias de los tres métodos anteriores, el cual se presenta a continuación:

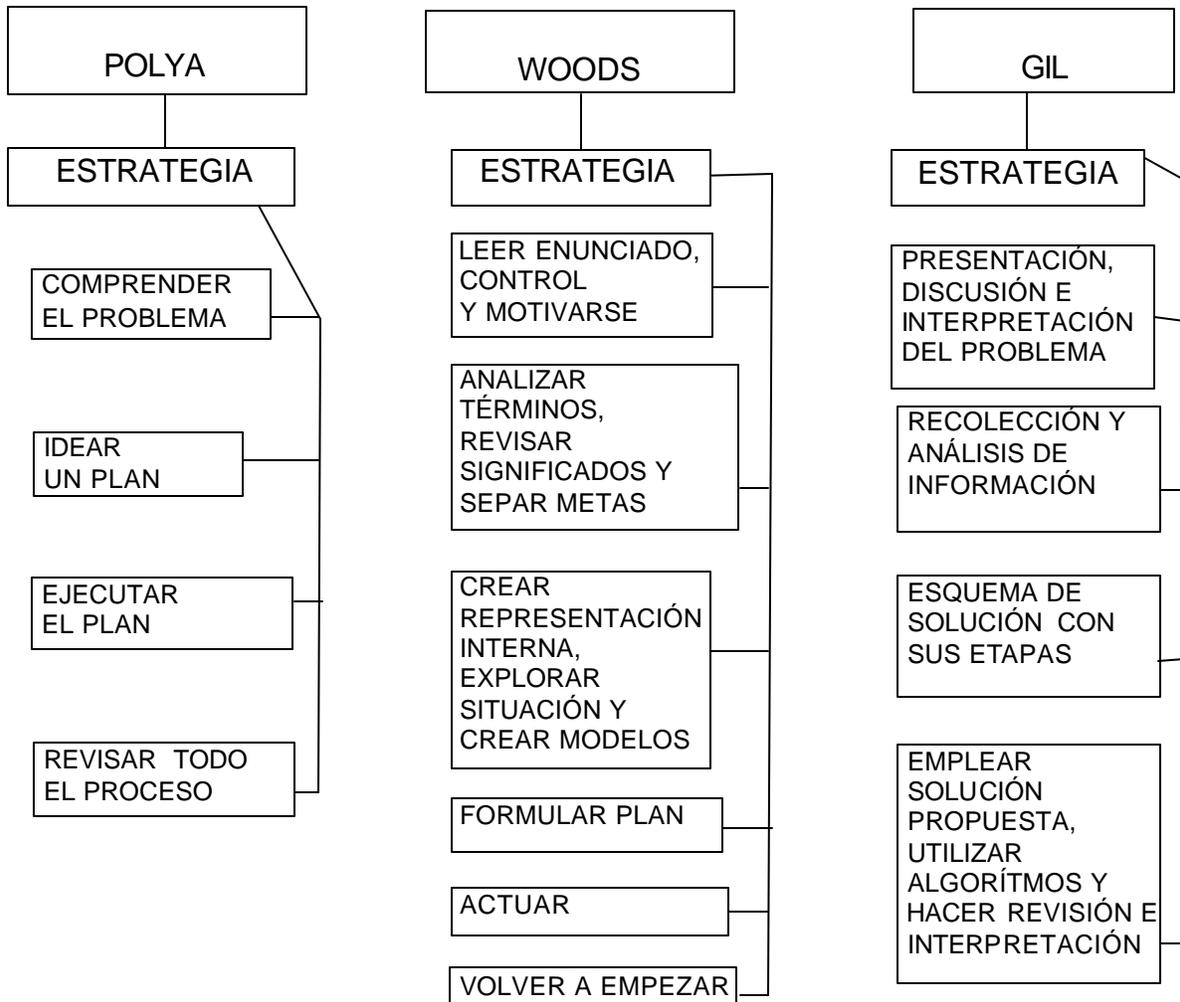


Fig. 2. Estrategias seguidas en los Métodos de Polya, Woods y Gil

Lo que se puede apreciar en este cuadro es que las estrategias que siguen los tres métodos son similares; en Polya, el primer paso, establece que el alumno comprenda el problema, lo cual es equivalente a que identifique incógnitas, como lo marca Woods, asimismo, es equivalente a la primera etapa de presentación, discusión e interpretación del problema, como lo refiere Gil.

También se puede observar que en los tres se formula un plan, ya que esto es parecido a hacer el esquema de solución que plantea Gil. Además, es importante notar que en ambos se hace una revisión, si uno considera que el volver a empezar, como lo establece Woods, nos permite revisar.

En general, se puede decir que los autores Woods, Polya y Gil proponen métodos heurísticos o estrategias generales, que si bien no garantizan la obtención de soluciones, sí ayudan a encontrarlas, cuando se siguen.

Por otro lado, surge un nuevo método, basado en los tres anteriores y enfocado en un inicio a la resolución de problemas de Física, este es el TADIR. El cual se describe en la siguiente sección, estableciendo sus ventajas y limitaciones.

### 3.4 EL MÉTODO TADIR

El método TADIR (cuyas siglas corresponden a las iniciales de cinco etapas: T: Traducción, A: Análisis; D: Diseño; I: Instrumentación y R: Revisión) es una estrategia de solución de problemas, que fue propuesta por Jorge R. Barojas Weber, en 1999, con la finalidad inicial de facilitar la resolución de problemas de Física por medio de la aplicación de conceptos.

El TADIR es una forma de representar el camino requerido para pensar la solución del problema y una guía para llevar a cabo los correspondientes procesos cognitivos (que se presentan en las cuatro primeras etapas: TADI) y metacognitivos (que se pueden alcanzar al realizar la última etapa de revisión: R).

*“Aquí metacognición implica pensar lo pensado y contiene dos partes: la primera consiste estrictamente en el examen de todas las componentes de la solución, y la segunda parte se refiere a la confrontación de los resultados con las operaciones realizadas en cada una de las etapas previas (TADI).*

*En el TADIR se combinan la discusión, la interpretación y la toma de decisiones, para preparar y poner a prueba un plan de acción (el diseño de la solución) y la reflexión que corresponde a la etapa de revisar tanto los resultados como el procedimiento.” (Barojas, 2001)*

Las cinco etapas del método TADIR en la solución de problemas de Física, se describen en la tabla 1, esta se presenta a continuación.

TABLA 1. DE ETAPAS DEL MÉTODO TADIR

ETAPA	DESCRIPCIÓN
<b>T: Traducción</b>	Se transcribe el enunciado del problema en los <u>términos</u> propios de la disciplina, de manera que en la situación que se aborda puedan identificarse con claridad y precisión los conceptos (objetos) y las relaciones conceptuales pertinentes (eventos).
<b>A: Análisis</b>	Se explicitan las <u>suposiciones</u> que deben hacerse para obtener la solución del problema y se indica el tipo de respuesta que se espera.
<b>D: Diseño</b>	Se propone un esquema o diagrama conceptual que muestre la línea de <u>razonamiento</u> que habrá de conducir a la solución del problema.
<b>I: Instrumentación</b>	Se plantean las definiciones y ecuaciones que deberán intervenir en el proceso y se realizan las <u>operaciones</u> correspondientes, utilizando la información disponible para que se obtenga la solución del problema.
<b>R: Revisión</b>	Se considera críticamente la solución y se verifican órdenes de magnitud, unidades, sentido físico, casos límite. Regresando al principio del procedimiento y pasando nuevamente por cada una de sus etapas, para detectar posibles errores de concepto, razonamiento y cálculo.

La interrelación entre las etapas del TADIR se esquematiza a continuación:

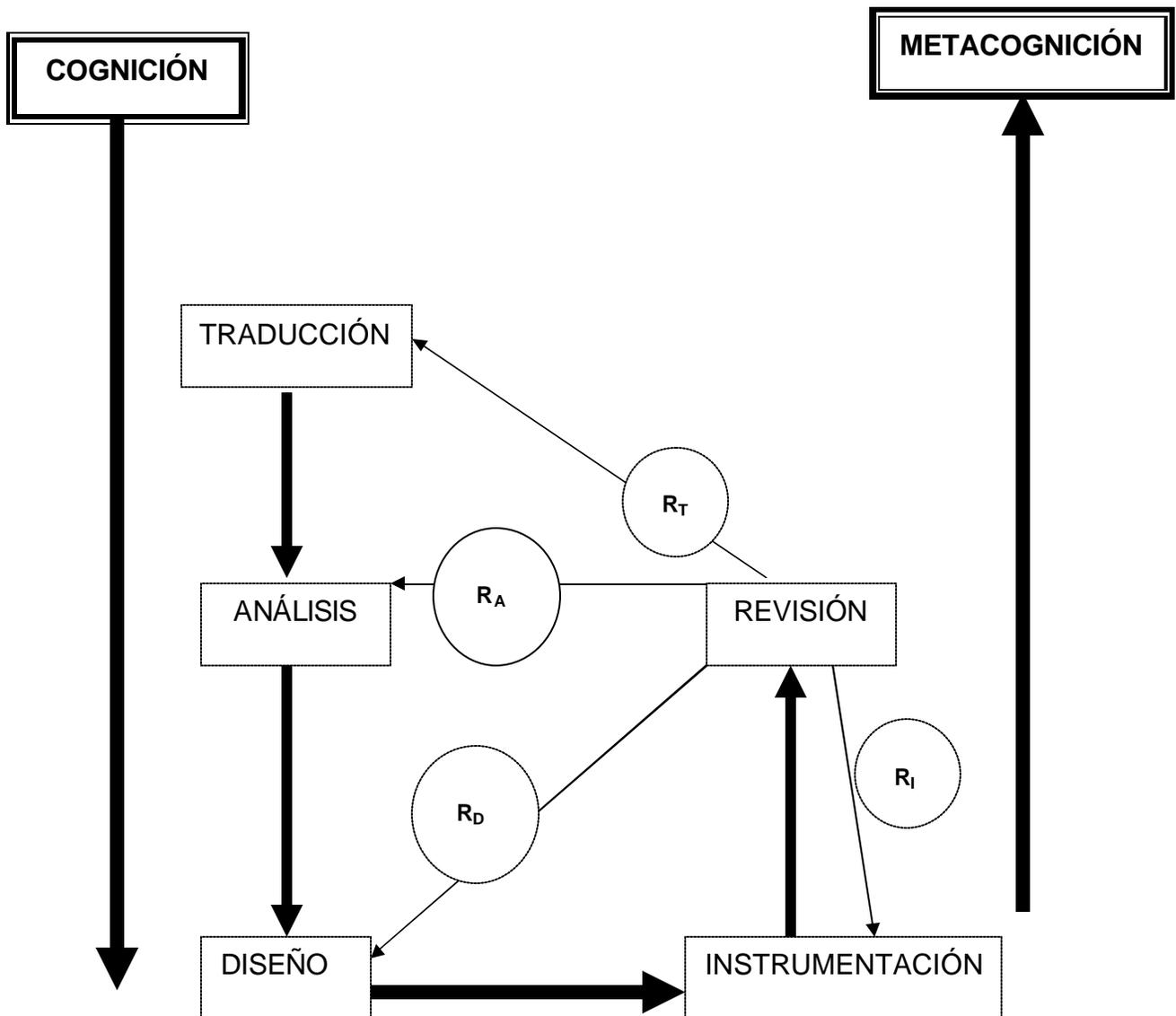


Fig. 3. Relación existente entre las cuestiones cognitivas y metacognitivas con las etapas del método TADIR (Barojas, 2001).

En la figura 3, el proceso metacognitivo de reflexionar acerca de los resultados y procedimientos seguidos para obtener la solución de un problema, se efectúa cuando se realizan las revisiones de las cuatro primeras etapas, éstas se representan con  $R_T$ ,  $R_A$ ,  $R_D$ , y  $R_I$ .

$R_T$ : Esta consiste en examinar el enunciado original del problema y considerar críticamente si los términos utilizados en la etapa de Traducción no requieren de modificaciones y si las respuestas obtenidas responden a las preguntas planteadas en el enunciado.

$R_A$ : En ésta se plantean si todas las suposiciones introducidas en el Análisis se han utilizado correctamente, asimismo, se analizan las implicaciones que tendría en el tipo de respuesta a obtener, si se cambian algunas suposiciones o se introducen otras nuevas.

$R_D$ : Al realizar ésta, se tiene que reflexionar acerca de otros posibles caminos o diseños para obtener la solución, implicando las mismas componentes o introduciendo algunas diferentes.

$R_I$ : En ésta, se verifica que todas las operaciones matemáticas requeridas en la etapa de Instrumentación de la respuesta, se han realizado correctamente y si el correspondiente algoritmo se ha aplicado bien o debe modificarse.

Es preciso aclarar que las etapas del método TADIR pueden igualmente aplicarse a otras disciplinas y son equivalentes a los pasos planteados por otras estrategias.

El método TADIR tiene sus ventajas y sus limitaciones, las cuales se establecen a continuación:

Las ventajas<sup>11</sup> son:

- Permite interpretar el enunciado del problema en los términos propios de la disciplina.
- El desarrollo de la solución de los problemas permite definir los conceptos de los temas del programa de la disciplina de estudio.
- El alumno aprende a estructurar las ideas para crear un diseño que lo conduzca a la solución del problema planteado.
- Permite considerar críticamente la solución.
- Puede existir una gama de posibles soluciones del problema, adoptando la más precisa para la solución del mismo.
- El alumno aprende a sistematizar la información.
- El alumno aprende a organizar la información para solucionar el problema planteado.
- Este método es congruente con el ABP porque ambos introducen al alumno en la indagación (como una primicia para iniciar una investigación seria de los conceptos físicos propios de su nivel)
- Cuando el alumno efectúa la revisión del problema, con la supervisión y guía del docente, se establece un proceso metacognitivo que lo llevará a un conocimiento significativo de los conceptos que se manejan en el problema.

Las limitaciones son:

- El desarrollo de la solución de los problemas requiere de bastante tiempo.
- La extensión del desarrollo de las etapas para llegar a la solución puede ser bastante amplia para los alumnos de Bachillerato.
- La ansiedad del estudiante a causa de la potencial inmensidad del universo de posibles soluciones ante las revisiones de los mismos.
- Resistencia del docente a causa de la preparación de las soluciones de los problemas.

---

<sup>11</sup> Estas ventajas se han detectado, pero antes de este trabajo no se habían aplicado en grupos de Bachillerato.

A continuación se presenta el ABP (Aprendizaje Basado en Problemas), como una estrategia que promueve al docente a ser un facilitador en el aprendizaje.

### **3.5 APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)<sup>17</sup>**

El ABP constituye otra estrategia de enseñanza para el docente, la cual fue desarrollada y aplicada en la Escuela de Medicina de la Universidad de Mc Master en Canadá desde 1968.

El ABP es una estrategia de enseñanza que permite implementar una metodología de aprendizaje, cuyos objetivos son:

- La adquisición integrada de conocimientos relacionados con el planteamiento de problemas.
- La aplicación de habilidades en la resolución de estos problemas para desarrollar en el alumno razonamiento y análisis crítico.

En sí mismo constituye un esquema alternativo al modelo educativo de tipo magistral. Al trabajar con el ABP, el proceso de aprendizaje convencional se invierte. Mientras tradicionalmente primero se expone la información y posteriormente se busca su aplicación en la resolución de un problema, en el caso del ABP, primero se presenta la situación o caso, se identifican los problemas y las necesidades de aprendizaje, que deben cubrirse para resolver esta, se busca la información necesaria y finalmente se regresa a dicha situación.

El principio básico del ABP consiste en enfrentar al alumno a una situación y darle una tarea o un reto como fuente de aprendizaje, instrumentándolo de tal manera que sea similar a las condiciones de trabajo a las que se va enfrentar en su vida profesional.

---

<sup>17</sup> Gran parte del desarrollo de este tema está basado en las notas del curso de ABP, que dio el Dr. Adrián Martínez González, en la asignatura de tercer semestre: Taller de Apoyo al Desarrollo de la Tesis, como parte de la MADEMS, durante febrero a julio de 2005.

El ABP no es simplemente un método para facilitar el aprendizaje, sino representa una interpretación particular del proceso de enseñanza-aprendizaje, diferente a la didáctica tradicional, en donde la principal actividad recae sobre el que aprende, convirtiéndose en el soporte fundamental de la formación y fuente privilegiada de conocimiento.

En el ABP, el docente cumple el rol de *estimulador, facilitador y orientador* permanente, fungiendo como tutor de las actividades del alumno, en las cuales el alumno va descubriendo, elaborando, reconstruyendo, reinventando y haciendo suyo el conocimiento.

Una de las características distintivas del ABP, es el de funcionar para grupos pequeños<sup>18</sup>, los cuales se orientan a trabajar para lograr la solución del problema o situación. En estas actividades grupales los alumnos toman responsabilidades y acciones que son básicas en su proceso formativo.

Los aprendizajes que se fomentan en el ABP son:

- La adquisición de conocimientos, valores, actitudes y habilidades con base en problemas reales.
- El desarrollo de la capacidad de aprender por cuenta propia.
- La capacidad de identificar y resolver problemas.

El ABP se basa en la teoría de procesamiento de información humana, la cual considera los principios siguientes:

- Conocimientos previos de los alumnos.
- Especificación de la codificación.
- Elaboración de los conocimientos.

---

<sup>18</sup> El ABP desde su aparición ha sido recomendado para aplicarse en grupos reducidos de no más de siete alumnos.

- Teoría del aprendizaje mediante el descubrimiento de Bruner<sup>19</sup>.
- Teoría del aprendizaje contextual<sup>20</sup> de Cole<sup>21</sup>.

En la mayoría de los currículos de Medicina, donde se aplica el ABP, la discusión del problema se lleva a cabo a través de un proceso estructurado constituido por:

1. Identificación de pistas / datos / hechos relevantes.
2. Identificación del problema o problemas.
3. Formulación de hipótesis.
4. Identificación de las necesidades de aprendizaje (conceptos y áreas de investigación).
5. Período para el estudio independiente.
6. Discusión de las hipótesis con base en los nuevos conocimientos.
7. Repetición del proceso.
8. Evaluación.

La metodología del ABP toma en cuenta varios elementos, los cuales son: los problemas, recursos, objetivos, aspectos conductuales y el aprendizaje en la solución de la situación o caso. A continuación se menciona cual es su papel de cada uno de ellos.

- Los problemas permiten:
  1. Estructurar conocimientos relevantes.
  2. Libertad de búsqueda de información.
  3. Tolerar la duda.

---

<sup>19</sup> De acuerdo a Bruner se debe inducir al aprendiz a una participación activa en el proceso de aprendizaje, lo cual se nota en el énfasis que pone en el aprendizaje por descubrimiento.

<sup>20</sup> Según Cole (1983), hay que buscar el mecanismo del cambio individual en la interacción entre individuos, quienes al mismo tiempo constituyen la sociedad a través de sus interacciones (en el nivel más evidente, constituyendo mediante sus interacciones los contextos en los que se forman y cambian el aprendizaje, el desarrollo o los esquemas).

<sup>21</sup> Estas dos teorías de aprendizaje se complementan sin contraponerse en el ABP, ya que permiten contextualizar al alumno en situaciones semejantes a las que podría enfrentar en el ámbito profesional, asimismo lo pone a que descubra por sus propios medios

- Los recursos son:
  1. Medios que proporcionan información.
  2. Habilidades de investigación.
- Los objetivos deben reflejar:
  1. La responsabilidad de los académicos.
  2. La participación de los estudiantes.
  3. La decisión sobre la dirección y profundidad de los conocimientos.
- Los aspectos conductuales deben permitir:
  1. Un comportamiento similar al del profesional.
  2. El trabajo en equipo (grupos de 5 a 7 alumnos).
  3. Al tutor como guía de los pasos del proceso del ABP.
  4. Que el estudiante sea responsable de su educación.
- El aprendizaje es:
  1. Activo y autodirigido por el alumno.
  2. Monitoreado por tutores.
  3. Apoyado por compañeros, consultores o asesores.

Para llevar a cabo una clase aplicando el ABP se debe:

- Elaborar el diseño de la situación, previamente a la clase.
- Hacer la redacción completa del material, llenando todos los aspectos de la situación en la hoja del tutor, previamente a la clase.
- Hacer la entrega del material a los alumnos
- Establecer las pistas (los alumnos lo hacen).
- Proponer los problemas a partir de esas pistas relevantes (los alumnos lo hacen).
- Formular las hipótesis (los alumnos lo hacen).
- Determinar las áreas o temas a investigar (los alumnos lo hacen).
- Establecer las fuentes de información y de consulta que utilizan (los alumnos lo hacen).

En la aplicación del ABP como estrategia de enseñanza - aprendizaje, el tutor tiene que elaborar previamente el enunciado de la situación y tenerla resuelta antes que los alumnos, para que sirva como parámetro de comparación con lo que obtengan ellos.

Al presentar una situación a los alumnos como reto a resolver, el tutor tiene que inducir a los alumnos a identificar las necesidades de su propio aprendizaje.

Al empezar a leer el texto de una situación, los alumnos deben cumplir al menos con dos requisitos<sup>22</sup>:

1. comprender el enunciado,
2. interpretarlo en términos de lo que conocen del tema tratado, para conectar los datos relevantes con las pistas.

Al establecer las pistas, se aclaran los términos y conceptos que ayudarán a la descripción de la situación, permitiendo establecer el o los problemas detectados. Éstos son la base para establecer las hipótesis, las cuales pretenden establecer las causas probables de su existencia u origen. Todo esto, induce al alumno a iniciar la obtención de información, para dar las posibles soluciones de la situación planteada.

Con la búsqueda<sup>23</sup> y selección de información, se puede ver con mayor claridad los problemas de la práctica y partir de la reflexión teórica, se plantearán nuevas hipótesis o se sustentan las ya expuestas. Por otro lado, al profundizar en la situación, por medio del estímulo de la discusión, diálogo, reflexión y participación, se logra hacer una toma de decisiones adecuada para resolver dicha situación.

---

<sup>22</sup> En la Física adoptaremos el término *situación* como una analogía del *caso* en Medicina. Ésta nos dará toda la información para establecer las pistas.

<sup>23</sup> En esta se puede notar que el alumno desarrolla un aprendizaje independiente.

Por otro lado, el ABP permite realizar una evaluación, en la cual los alumnos tienen la posibilidad de:

- Evaluarse a sí mismos.
- Evaluar a los compañeros.
- Evaluar al tutor.
- Evaluar el proceso de trabajo del grupo y sus resultados.

El propósito de esta evaluación es proveer a cada alumno de retroalimentación específica acerca de sus fortalezas y debilidades, de tal modo que pueda aprovechar posibilidades y rectificar las deficiencias identificadas.

La retroalimentación juega aquí un papel fundamental, así pues, debe hacerse de manera regular y es una responsabilidad del tutor. Asimismo, dicha retroalimentación no debe tener un sentido positivo o negativo, sino más bien tener un propósito descriptivo, identificando y aprovechando todas las áreas de mejora posibles. Esto permitirá al tutor y a los alumnos hacer la evaluación formativa del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En esta evaluación formativa algunas de los aspectos que pueden ser evaluados en el alumno por el tutor y los integrantes del grupo pueden ser:

- La preparación de la sesión, en la cual requiere que se establezca si el alumno:
  - Utiliza material relevante durante la sesión.
  - Aplica conocimientos previos.
  - Demuestra iniciativa, curiosidad y organización.
  - Muestra evidencia de su preparación para las sesiones de trabajo en grupo.

- La participación y las aportaciones al trabajo de grupo, con las cuales se evalúa en el alumno:
  - Participación de manera constructiva y que apoye el proceso del grupo.
  - Capacidad de dar y aceptar retroalimentación constructiva.
  - Contribución a estimular el trabajo colaborativo.
  
- Las Habilidades Interpersonales y Comportamiento Profesional, de esto se evalúa si el alumno:
  - Muestra habilidad para comunicarse con los compañeros.
  - Escucha y atiende las diferentes aportaciones.
  - Es respetuoso y ordenado en su participación.
  - Es colaborativo y responsable.
  
- Las Contribuciones al Proceso de Grupo, en este punto se evalúa si el alumno:
  - Apoya el trabajo del grupo colaborando con sus compañeros y aportando ideas e información recabada por él mismo.
  - Estimula la participación de los compañeros y reconoce sus aportaciones.
  
- Las Actitudes y Habilidades Humanas, en este aspecto se evalúa si el alumno:
  - Está consciente de sus fortalezas y limitaciones personales.
  - Escucha las opiniones de los demás.
  - Tolera los defectos de los demás.
  - Estimula el desarrollo de sus compañeros.
  
- Evaluación Crítica, en este aspecto se evalúa si el alumno:
  - Clarifica, define y analiza el problema.
  - Es capaz de generar y probar una hipótesis.
  - Identifica los objetivos de aprendizaje.

El ABP tiene algunas ventajas y limitaciones, éstas se presentan a continuación.

Las ventajas<sup>24</sup> del ABP son:

- Se puede aplicar a cualquier disciplina.
- Refuerza la motivación.
- Permite que los alumnos desafíen el desarrollo de sus conocimientos en la solución de un problema.
- Estimula el aprendizaje de lo más relevante.
- Permite definir y satisfacer las necesidades educativas, porque:
  1. Se propicia el aprendizaje independiente, por el estudio a lo largo de la vida.
  2. Se establece una educación continua autodirigida.
- Favorece el desarrollo del razonamiento en la aplicación del conocimiento.
- Estimula los procesos intelectuales superiores, como son:
  1. Curiosidad, argumentación, crítica, integración.
  2. Retención y transferencia de información.
- Promueve el desarrollo personal y grupal en:
  1. Escuchar, participar, respetar, cooperar, evaluar y autoevaluar.

El docente debe tener los conocimientos necesarios para orientar y guiar a los alumnos en este proceso; esto algunas veces podría ser una ventaja o una limitación.

Las limitaciones del ABP son:

- El desarrollo de los problemas y el material de apoyo requieren de mucho tiempo.
- Los problemas y situaciones limitan el razonamiento por ser modelos.

---

<sup>24</sup> Éstas fueron establecidas a través de la evaluación del ABP con respecto a métodos tradicionales de enseñanza durante 1970 a 1990 en 19 instituciones educativas de los Estados Unidos de Norte América, los resultados de esta investigación evaluativa del ABP, se pueden encontrar en la referencia 80 de la bibliografía de esta tesis. Además en México, David Servin Hernández (2001), realizó un estudio comparativo entre dos grupos en la asignatura de Farmacología, en el cual estableció algunas ventajas del uso del ABP, en la Facultad de Medicina de la UNAM. Los resultados sobre esta investigación se pueden encontrar en la referencia 72 de la bibliografía.

- La ansiedad del estudiante a causa de la potencial inmensidad del universo de aprendizaje.
- Resistencia del docente a causa de la pérdida del papel tradicional.

### 3.6 RELACIÓN DEL ABP CON EL TADIR

No obstante que el ABP<sup>25</sup> surge de la necesidad de resolver los casos en Medicina, se puede establecer una conexión con el TADIR, ya que éste también es originado por el deseo de resolver problemas en la asignatura de Física.

Por otro lado, se pueden observar similitudes en cuanto a las etapas de solución de las situaciones (casos) con las etapas de solución de los problemas; éstas se hacen notar a continuación.

#### 1. ETAPA DE TRADUCCIÓN DE UN PROBLEMA-PISTAS

Comparemos la primera etapa (traducción) del TADIR con la primera etapa (obtención de pistas) del ABP. Por un lado, la etapa de traducción del TADIR, consiste en interpretar y transcribir el enunciado del problema, a partir de la interpretación de la información proporcionada en el texto del problema, para identificar con claridad y precisión las relaciones conceptuales pertinentes, lo cual requiere establecer las variables físicas y sus relaciones inmersas en el problema dado.

Por otro lado, la etapa de la obtención de pistas en el ABP consiste en seleccionar éstas a partir de la información plasmada en el texto de la situación o caso, para que se precisen los datos contenidos en el enunciado de la situación o caso. Existe una gran similitud entre estas dos etapas, puesto que ambas seleccionan información del texto, ya sea de un problema o de la situación.

---

<sup>25</sup> Este modelo permite en cada caso o situación identificar o establecer los problemas por resolver.

En este sentido, se puede establecer un complemento entre el TADIR y ABP: que el ABP sirva como la parte introductoria, en la que el alumno se familiarice con la selección de información, en el establecimiento de las pistas, para que posteriormente determine fácilmente las variables relevantes de un problema y formule adecuadamente la etapa de traducción.

### 3.6.2. ETAPA DE ANÁLISIS -HIPÓTESIS

Comparando la segunda etapa del TADIR con la tercera etapa del ABP (Hipótesis y/o explicaciones), se puede observar que hay cosas en común entre ellas. En la etapa de análisis del TADIR se establecen las suposiciones o hipótesis, las cuales explican las relaciones entre las variables y definen conceptos para la solución del problema. Por otro lado, en la etapa de las hipótesis y/o explicaciones del ABP, se hacen suposiciones o conjeturas para responder a cada problema o pregunta planteada en la etapa anterior.

Estas dos etapas tienen similitud, porque en ambas se establecen hipótesis que pretenden justificar o dar respuesta inicial a los elementos que intervienen en el problema, dando el soporte conceptual para seguir el camino que conduce a la solución del problema. Esta similitud permite que al aplicar el ABP en una situación de aprendizaje, los alumnos aprendan a establecer hipótesis, lo cual les facilitará el análisis de un problema cuando lo resuelvan con el método TADIR.

### 3.6.3. ETAPA DE DISEÑO-DETECCIÓN DE PROBLEMAS

La etapa de diseño del TADIR nos describe el proceso o pasos a seguir, marcando la dirección en la aplicación de los principios o conceptos fundamentales para resolver el problema. Esta etapa del TADIR se puede comparar con la identificación de los problemas en una situación de ABP, en donde se detectan y se establecen los posibles problemas a resolver, marcando la dirección de la investigación a seguir para resolver la situación.

### 3.6.4. ETAPA DE INSTRUMENTACIÓN-ÁREAS O TEMAS A INVESTIGAR

La etapa de instrumentación en el TADIR nos determina la puesta en marcha de acciones, tomando en cuenta el plan o diseño realizado en la etapa anterior, para establecer la solución de un problema.

En la etapa de áreas o temas a investigar del ABP se determinan los contenidos o acciones para la puesta en marcha de la investigación, delimitándolos a los que más se apeguen a la comprensión y solución de los problemas encontrados en la etapa anterior.

Se puede considerar que en estas dos etapas se ponen en marcha las acciones pertinentes para resolver un problema, tomando en cuenta lo señalado en la etapa anterior, permitiendo la solución y la mejor comprensión de un problema o de una situación. Por lo cual, se puede decir, que tienen similares funciones.

### 3.6.5. ETAPA DE REVISIÓN-FUENTES DE INFORMACIÓN O CONSULTA

La etapa de revisión en el TADIR consiste en revisar las etapas anteriores para establecer si es consistente la solución con la(s) pregunta(s) planteada(s) en el problema o si se puede encontrar una mejor solución a éste.

Por otro lado, en la etapa de fuentes de información o consulta del ABP se establecen los orígenes de la información obtenida para cubrir los temas o áreas marcados en la etapa anterior, así como la revisión de la información para establecer si fue adecuada y apegada a lo que se requería en las etapas anteriores de la situación planteada.

Por lo cual, existe similitud en estas dos etapas, ya que en ambas se revisa la información requerida para resolver un problema o una situación y la manera como fue utilizada ésta, además de la circunstancia de que las dos son estrategias que tratan con problemas y pueden ser aplicables a cualquier disciplina.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

La metodología seguida para lograr los propósitos de esta tesis fue:

1. Valorar los métodos ABP Y TADIR, para saber sus alcances, esto se realizó cuando se hizo la plantación de las sesiones de las prácticas docentes.
2. Elaborar situaciones y problemas referidos a los temas de Física Moderna a Nivel Bachillerato. Para esto se consideró que algunas de las preguntas o problemas que se generaron en las situaciones ABP podrían ser contenidos en los problemas que se resolverían con el método TADIR.
3. Aplicar el ABP y TADIR en la solución de problemas de Física Moderna en el aula, durante las Prácticas Docentes II y III. Esto se pudo llevar a cabo partiendo de situaciones de ABP, las cuales permitieron al alumno comprender fácilmente el desarrollo de las dos primeras etapas del TADIR al identificarlas con las pistas y las hipótesis.
4. Valorar los resultados de la aplicación de los métodos en el aula, a través de instrumentos como son exámenes diagnóstico, cuestionarios y problemas resueltos.
5. Decidir cual de los dos métodos o si ambos son adecuados en el desarrollo de una clase o de un semestre.

Esta metodología indujo a realizar diversas actividades necesarias para la elaboración de esta tesis, las cuales se mencionan en los incisos siguientes.

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS**

El proceso seguido para elaboración del trabajo de tesis fue el siguiente:

1º. Se diseñó un proyecto de tesis, en el cual se estableció como tema la aplicación de dos métodos de solución de problemas de Física Moderna a Nivel Bachillerato.

2º. Se elaboró un plan de trabajo para cada semestre de la maestría, tomando como prioridad las actividades encaminadas a la elaboración de la tesis.

3º. Se recolectó la información sobre los métodos de solución de problemas. Asimismo, se estudió dicha información, para seleccionar la más útil para la tesis.

4º. Se diseñaron los problemas y situaciones de Física Moderna en los temas: Radiación del Cuerpo Negro, Efecto Fotoeléctrico, Modelo Atómico de Bohr y Relatividad Especial.

5º. Se elaboró la solución de cada uno de los problemas aplicando el método TADIR en todas sus etapas.

6º. Se diseñaron las situaciones de ABP de los temas de Física Moderna: Radiación del Cuerpo Negro, Efecto Fotoeléctrico, Modelo Atómico de Bohr y Relatividad Especial.

7º. Se revisó la solución de cada situación diseñada de ABP y de los problemas resueltos con el TADIR.

8º. Durante la Práctica Docente I (realizada del 27 al 6 de octubre de 2004), se introdujo a los alumnos de tercer semestre de CCH en la solución de problemas de Mecánica, el tema tratado fue la 2ª. Ley de Newton, sin aplicar ABP o TADIR.

9°. Durante la Práctica Docente II (efectuado del 12 al 28 de abril de 2005), se aplicaron tanto el ABP como el TADIR, en la solución de las situaciones y los problemas diseñados de Efecto Fotoeléctrico y Átomo de Bohr, con alumnos de cuarto semestre del CCH.

10°. Durante la Práctica Docente III (realizada del 31 de agosto al 29 de septiembre de 2005), se aplicaron ABP y TADIR en la solución de las situaciones y los problemas de Radiación del Cuerpo Negro y Efecto Fotoeléctrico con alumnos de sexto semestre de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP-6).

11°. Se aplicaron exámenes diagnósticos iniciales, intermedios y finales, en cada grupo asignado durante las prácticas docentes.

Después de hacer una descripción de lo que se tuvo que realizar para la elaboración de esta tesis, considero necesario hacer notar que de acuerdo con el problema planteado en esta tesis, se tuvieron que valorar dos variables, las cuales fueron la utilidad del ABP y el TADIR como estrategias de enseñanza y la aceptación de éstos en el aula.

#### **4.2 APLICACIÓN DEL ABP Y EL MÉTODO TADIR EN EL AULA**

No obstante, que en la Práctica Docente I no se aplicaron los problemas de Física Moderna ni la solución según los métodos TADIR y ABP, es importante mencionar que durante ésta, se organizó al grupo en 5 equipos de 5 integrantes cada uno, indicándoles la manera de trabajar en los equipos y asignándoles actividades experimentales a realizar, así como se les entregó una lista de problemas que tenían que resolver. Sin embargo, este procedimiento no tuvo mucho éxito, puesto que los alumnos no estaban acostumbrados a resolver problemas por sí solos y por el tiempo tan limitado que se asignó para el desarrollo del tema, que fue de tan sólo cuatro sesiones.

Por otro lado, en la aplicación de los métodos de solución de problemas en las prácticas docentes II y III, se necesitó hacer un análisis de los problemas que enfrentan los alumnos que están cursando Física II y IV, tanto del CCH como de la ENP, enfocados a los temas de Física Moderna. También se necesitó hacer una revisión de los dos programas y una búsqueda bibliográfica para obtener algunos problemas representativos de Física Moderna. Ya teniendo identificados estos problemas, se adaptaron para que fueran adecuados para el nivel Bachillerato; posteriormente fueron resueltos aplicando el método TADIR.

La utilización del ABP y el TADIR, por parte de los alumnos, durante las prácticas docentes II y III, se logró gracias a que se elaboraron previamente las dos planeaciones basadas en sus respectivos programas, tanto del CCH como de la ENP y porque se dio a conocer a los alumnos estos métodos, al inicio de cada práctica docente.

La aplicación del ABP y TADIR en la solución de situación y problema, se hizo estableciendo claramente sus diferentes etapas a seguir para determinar la solución de cada uno.

Para resolver los problemas de Física Moderna con el método TADIR primero se modeló como se elabora la traducción en un problema, para que a partir de esto los alumnos aprendieran a establecer la etapa de traducción. Después, cuando lograron dominar esta etapa se pasó a la de análisis y así sucesivamente hasta llegar a enseñarles a hacer la revisión de las otras etapas, para establecer si se había llegado a una solución consistente o si existían otras posibilidades para obtener otra solución.

Es importante hacer la observación de que para aplicar los métodos ABP y el TADIR en la solución de una situación o problema hay que integrar<sup>26</sup> al grupo y sensibilizar a cada uno de los alumnos para que conozcan las condiciones necesarias para resolver los problemas de Física. Introduciéndolos en la necesidad de conocer conceptos físicos y procedimientos matemáticos.

Además, es imprescindible hacerles notar a los alumnos que para resolver un problema, deben poner en práctica un cúmulo de conocimientos, los cuales se han integrado a su experiencia, a través de un aprendizaje previo.

En la Práctica Docente II, el grupo se organizó formando 5 equipos de 4 a 5 integrantes, eligiéndose un representante por cada equipo, la función de este representante fue la de moderar, distribuir y dividir las tareas del equipo. Esto se hizo para que se facilitaran las actividades que se requirieron realizar, tanto con el ABP como en la aplicación del TADIR en la solución de problemas de los temas de Efecto Fotoeléctrico y Modelo de Bohr. Asimismo, los integrantes de cada equipo se comunicaban para realizar de común acuerdo las actividades asignadas en la clase y para organizarse en la división de las tareas extra-clase.

Durante la clase, cuando se les pedía resolver un problema, se les daba 5 minutos para que analizaran en equipo dicho problema y otros 15 minutos para que redactaran en un acetato la resolución del mismo.

Por ejemplo, para las situaciones ABP, se les entregaba material que les serviría para consultar o previamente se les pedía que trajeran un texto. Dichas situaciones las resolvían entre todos los integrantes de cada equipo y sólo uno de ellos pasaba a exponerlas frente al grupo, permitiendo que los otros equipos hicieran aportaciones para corregir las fallas, si es que existían o para opinar sobre los aciertos de los equipos ponentes.

---

<sup>26</sup> El profesor como tutor organiza, integra el trabajo del grupo.

Todas las exposiciones las realizaban utilizando el proyector de acetatos, esto con el fin de que todos los equipos pasaran a exponer el mismo día durante la clase y se lograra establecer un acuerdo general en la solución de la situación.

Cuando los alumnos resolvieron los problemas en clase aplicando el método TADIR, ellos se organizaron adecuadamente en sus equipos para que cada uno de los integrantes participara en el desarrollo de la solución. Todos aportaban para establecer cada una de las etapas del TADIR, hasta que lograban tener la solución completa del problema, luego reportaban la solución en un acetato, para que uno de sus integrantes pasara a exponerlo frente a grupo.

El equipo apoyaba a su expositor y los otros equipos hacían sugerencias o preguntaban sus dudas acerca de la solución presentada. Todos los equipos pasaban a exponer su solución en esa clase.

Esto fue de gran utilidad para la aplicación del TADIR en la solución de problemas, ya que permitió que los alumnos se organizaran adecuadamente y discutieran en cada equipo la forma en que resolverían cada problema, siguiendo cada una de las etapas del TADIR y aprovechando el tiempo al máximo.

Por otro lado, en la Práctica Docente III, se organizó al grupo formándose 6 equipos de 5 integrantes.

Tanto en las situaciones ABP como en los problemas resueltos aplicando TADIR, fueron resueltos por los alumnos, durante la clase, en un tiempo no mayor a 30 minutos y su solución fue redactada en un acetato, para que los equipos expusieran organizadamente. Cada equipo expositor aceptó las sugerencias o los comentarios emitidos por los otros equipos, para mejorar la solución.

Las tareas extra-clase permitieron que los equipos se organizaran en la asignación de éstas para cada integrante. Esto permitió que cada alumno aprendiera individualmente los temas, aunque estuviera haciendo trabajo de equipo.

Cabe señalar que los exámenes aplicados a cada grupo en las prácticas docentes resultaron de gran importancia, porque sirvieron para detectar que tanto aceptaron manejar el TADIR y el ABP. El examen diagnóstico fue integrado por preguntas abiertas, para detectar cuáles eran las deficiencias del grupo y qué tanto había manejado algún método de solución de problemas. En general, estas preguntas se referían a los conceptos que podrían manejar previamente los alumnos.

Por otro lado, los exámenes intermedio y final que se les aplicaron a los alumnos, fueron diseñados con reactivos referentes al tema de Física Moderna, incluyendo algunos de los problemas y las situaciones diseñadas en esta tesis. Para la elaboración de dichos exámenes, se tomaron en cuenta los contenidos del programa de la asignatura de Física II (del CCH) y del programa Física III de la ENP. También se tomó en cuenta la opinión de los profesores que imparten dicha asignatura, la opinión de los compañeros y la opinión de la profesora de práctica docente, así como las revisiones y sugerencias de los tutores de la tesis.

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO Y SOLUCIÓN DE SITUACIONES ABP Y PROBLEMAS DE FÍSICA MODERNA RESUELTOS SEGÚN EL MÉTODO TADIR**

En esta sección se presentan los problemas diseñados con su solución, los cuales fueron probados en su mayoría en las Prácticas Docentes II y III. Estableciendo primero las situaciones de ABP con su propuesta de solución y después los problemas resueltos con el método TADIR.

En el caso de las situaciones ABP, se tiene que elaborar tanto el material para el alumno como el del tutor. En el material para el alumno se presenta la situación sin resolver y en el del tutor se presenta ésta ya resuelta.

El diseño de una situación ABP consta de:

- Título de la situación.
- Texto de la situación referida al tema.
- Etapas del ABP.

Para diseñar la situación ABP, primero se eligió un título que pareciera curioso, el cual fuera congruente con la redacción del texto de la situación, dicho texto consiste de una narración cotidiana que tiene relación con el tema que se está tratando.

Por otra parte, cabe mencionar que en la solución de una situación ABP todas las etapas están encadenadas; es decir, que a partir de las pistas se detectan los problemas.

Los problemas se refieren a preguntas que surgen a partir de las pistas, las cuales se intentan justificar o contestar inicialmente en las hipótesis.

Considerando las hipótesis se establecen las áreas o temas a investigar, delimitándose así los objetivos de estudio, los cuales dan la pauta para seleccionar las fuentes que proporcionen la información acerca de los problemas detectados.

Es importante señalar que, exceptuando el tema de Radiación del Cuerpo Negro, por cada tema sólo se necesitó diseñar una situación ABP, debido a la extensión de éstos y porque se pretende que a partir de cada situación se establezcan problemas o preguntas sobre las cuales girará el desarrollo del tema.

Cabe mencionar que algunas de las preguntas establecidas en la segunda etapa del ABP respecto a las distintas situaciones dadas, pueden estar incluidas<sup>27</sup> en los problemas que se resuelven con el método TADIR, lo cual nos permite combinar los dos métodos de solución.

El diseño de los problemas que se solucionaron con el método TADIR, se hizo elaborando la redacción de éstos, de tal forma que fueran claros y sencillos para el lector de Bachillerato, estableciendo en la mayoría de ellos, datos numéricos relacionados con conceptos o variables físicas que permitirán conducir a establecer las relaciones adecuadas para encontrar la solución del problema.

En otras ocasiones se considerará una pregunta como un problema por resolver, es decir, la solución consistirá de las explicaciones fundamentadas por conceptos físicos, las cuales contestan a la pregunta planteada. Los problemas de este tipo se diseñaron para que estuvieran relacionadas con algunas de las preguntas que surgieron en las situaciones ABP.

Por otro lado, la redacción de los problemas que se resuelven con el método TADIR, toma en cuenta los temas de Física Moderna y los conceptos que deben

---

<sup>27</sup> Es decir, pueden ser parte del problema o pueden estar consideradas en su totalidad como un problema por resolver con el método TADIR.

manejar los alumnos en la asignatura de Física II y III, del CCH y de la ENP respectivamente.

Además, con la aplicación del TADIR en la solución de estos problemas, los alumnos organizan adecuadamente sus ideas, plasmando en la etapa del diseño el uso de conceptos, para establecer el modelo matemático que les permitirá obtener la solución.

En los problemas<sup>28</sup> del tema de Radiación del Cuerpo Negro, el primero de ellos es del tipo ejercicio, porque se obtienen resultados numéricos al sustituir datos en ecuaciones y despejar la incógnita. Éste se planteó así con el propósito de que los alumnos se sintieran seguros en la obtención de la solución, para no cambiarles espontáneamente todo lo que están acostumbrados a manejar en la resolución de este tipo de ejercicios. Sin embargo, tal procedimiento se hizo siguiendo las etapas del TADIR, para familiarizarlos con este método de solución.

En los demás problemas se consideró necesario que fueran del tipo problema-cuestión, con un grado de dificultad mínimo, para que los alumnos utilicen los conceptos y las leyes que se deben conocer de este tema, sin presuponer procesos cognitivos muy elaborados.

En cuanto a los problemas del tema de Efecto Fotoeléctrico, la mayoría aparenta ser del tipo ejercicio y sólo uno de ellos (el problema 2) es del tipo conceptual (problema-cuestión), porque se pide a los alumnos que razonen si es posible determinar el valor de  $h$  (la constante de Planck), usando sólo los datos de una gráfica, es decir, se requiere que los alumnos conozcan cómo determinar la pendiente de una recta y relacionar ésta con conceptos físicos del tema de Efecto

---

<sup>28</sup> Un problema en Física se entenderá como la proposición que representa un reto por la serie de cuestionamientos que la conforman, los cuales requieren respuestas argumentadas basadas en el encadenamiento de conceptos físicos y procesos matemáticos.

Fotoeléctrico, para así obtener el valor de la constante de Planck, que después utilizarán para determinar la función trabajo.

En los demás problemas de este tema, aunque sólo se obtiene un valor numérico en la solución, se requiere que el alumno aplique conocimientos sobre balance de energía. Asimismo, necesita recurrir a conceptos aprendidos anteriormente para que pueda relacionar las variables físicas adecuadamente y esto lo conduzca a la solución correcta de los problemas.

Para establecer la solución de problemas que aparentan ser ejercicios, los alumnos tienen que estructurar sus conocimientos e investigar los conceptos que necesitan para encontrar esta solución. Por esto, consideré adecuado redactarlos en la forma que se presentan en esta tesis y utilizarlos como aplicación del TADIR.

Para el tema de Modelo de Bohr se diseñaron seis problemas, aunque éstos parecen ser del tipo ejercicio, requieren que los alumnos apliquen conceptos asociados con las distintas series en el átomo de Hidrógeno, así como los conceptos de energía en los diferentes estados electrónicos.

Debido al encadenamiento de conceptos que se necesitan para resolver estos problemas, resultan ser más que simples ejercicios, porque para el alumno de Bachillerato representa un reto el resolverlos. Asimismo, estos problemas son muy útiles para que se manejen y aprendan los conceptos de este tema, aunque en todos ellos se requieran hacer cálculos que conducen a un valor numérico específico, para establecer su solución.

En las siguientes secciones se presentan las situaciones ABP y los problemas de Física Moderna resueltos con el método TADIR, para los temas de Radiación del Cuerpo Negro, Efecto Fotoeléctrico y Modelo de Bohr.

## **5.1 PROBLEMAS REFERIDOS A LA RADIACIÓN DEL CUERPO NEGRO**

En esta sección se presentan dos situaciones ABP y cinco problemas resueltos con el método TADIR, debido a que el tema de Radiación del Cuerpo Negro es muy amplio y porque se necesitan definir más conceptos. Además, en las situaciones ABP se establecen todas las pistas incluso las no relevantes<sup>29</sup>, porque este tema es la parte introductoria de la Física Moderna. Esto permitirá a los alumnos comprender mejor el tema y empezar a familiarizarse con el ABP.

### 5.1.1 SITUACIONES ABP APLICADAS EN ESTE TEMA

A continuación se presenta el material para el tutor, con una solución propuesta para cada situación de esta sección.

Material para el tutor, situación 1.

#### **CATÁSTROFE DEL ULTRAVIOLETA**

Luís es un alumno de 6º año de preparatoria. El día que le tocó clase de Física, él esperó para entrar a su salón, ya que dos maestros se encontraban dentro, comentando acerca de cómo explicar que la teoría cuántica de la materia surgió cuando la Física Clásica fue incapaz de explicar la distribución de energía, observada experimentalmente en el espectro de la radiación del cuerpo negro. Él se quedó escuchando y observó que dibujaban unas gráficas donde aparecía la temperatura, la longitud de onda y la intensidad de radiación. Cuando salieron de su salón los maestros comentaron: ¡Qué problema es el entendimiento de la catástrofe del ultravioleta para los alumnos de preparatoria! Luís se quedó pensando en lo que significaba eso y decidió ir a la biblioteca a consultar.

#### **Pistas / hechos /datos orientadores:**

---

<sup>29</sup> Las pistas no relevantes son aquellas que no tienen información de interés para el tema que se pretende estudiar.

- Luís es un alumno de 6º. año de preparatoria.
- El día que le tocó clase de Física, él esperó para entrar a su salón.
- Estaban dos maestros comentando.
- La teoría cuántica de la materia surgió cuando la Física Clásica fue incapaz de explicar la distribución de energía observada experimentalmente en el espectro de la radiación del cuerpo negro.
- Él se quedó escuchando y observó que dibujaban unas gráficas donde aparecía la temperatura, la longitud de onda y la intensidad de radiación.
- Los maestros comentaron: ¡Qué problema es el entendimiento de la catástrofe del ultravioleta para los alumnos de preparatoria!
- Luís se quedó pensando en lo que significaba eso.
- Decidió ir a la biblioteca a consultar.

### **Problema (s)**

- ¿Qué es la catástrofe del ultravioleta?
- ¿Qué es la teoría cuántica de la materia?
- ¿Qué es un cuerpo negro?
- ¿Qué es la radiación?
- ¿Qué es la intensidad de la radiación?
- ¿Cómo se relaciona la temperatura con la longitud de onda?
- ¿Cómo se relaciona la intensidad de radiación con la longitud de onda y la temperatura?

### **Hipótesis y / o explicaciones**

- La Catástrofe del Ultravioleta es el problema que afrontaron Rayleigh y Jeans al no poder explicar el comportamiento de la intensidad de radiación del cuerpo negro a diferentes frecuencias.
- La teoría cuántica de la materia es la teoría que surge a partir de la hipótesis de Planck sobre los cuantos de energía.
- Un cuerpo negro es un cuerpo cuya superficie absorbe la radiación térmica que incide sobre él, sin reflejar la luz.

- La radiación es la emisión continua de energía en forma de ondas electromagnéticas que se originan a nivel subatómico.
- La intensidad de la radiación es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo por unidad de área.
- La temperatura y la longitud de onda se relacionan en la Ley de Wien.
- La intensidad de radiación, la longitud de onda y la temperatura se relacionan con las expresiones obtenidas por Wien, Rayleigh-Jeans y Planck.

### **Áreas y / o temas a investigar**

- Catástrofe del ultravioleta.
- Radiación del cuerpo negro.
- Orígenes de la Mecánica Cuántica.

### **Fuentes de Información y consulta**

- Barojas Weber Jorge. (1981). *Física Moderna 1, Materia y Radiación*. México: Edit. Limusa.
- Dirección de INTERNET<sup>30</sup>:  
[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/11/htm/sec\\_21.html](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/11/htm/sec_21.html)

Material para el tutor, situación 2.

---

<sup>30</sup> Existen otras páginas enfocadas al tema, pero esta fue la que se consultó para esta situación.

## **PREPARACIÓN DE CLASE DE FÍSICA MODERNA**

Armando es un profesor de Física. Una semana antes de empezar el curso preparó una de sus clases introductorias al tema de Física Moderna, para esto leyó un artículo acerca de la radiación del cuerpo negro y la Hipótesis de Planck. Este artículo mencionaba que Planck se basó en la suposición de que las paredes del cuerpo negro se comportan como osciladores armónicos que pueden vibrar con todas las frecuencias posibles, para establecer que la energía radiante intercambiada con cualquiera de estos osciladores no podría tomar cualquier valor, siendo esta energía discreta y discontinua. El profesor pensó que esto resultaría complicado de explicar a sus alumnos de Bachillerato y decidió buscar otra bibliografía.

### **Pistas**

- Armando es un profesor de Física.
- Una semana antes de empezar el curso preparó una de sus clases introductorias al tema de Física Moderna.
- Leyó un artículo acerca de la radiación del cuerpo negro y la Hipótesis de Planck.
- Planck se basó en la suposición de que las paredes del cuerpo negro se comportan como osciladores armónicos que pueden vibrar con todas las frecuencias posibles.
- La energía radiante intercambiada con cualquiera de estos osciladores no podría tomar cualquier valor, siendo ésta discreta y discontinua.
- El profesor pensó que esto resultaría complicado de explicar a sus alumnos de Bachillerato y decidió buscar otra bibliografía.

### **Problema (s)**

- ¿A qué se refiere el término radiación?
- ¿Cómo es la radiación en la superficie de un cuerpo negro?
- ¿Qué es un cuerpo negro?
- ¿Qué dice la hipótesis de Planck y para qué fue formulada?
- ¿Qué es un oscilador armónico?

- ¿Qué significa vibrar con todas las frecuencias posibles?
- ¿Qué significa que la energía radiante sea discreta y discontinua?

### **Hipótesis y / o explicaciones**

- El término radiación se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de un cuerpo. Esta energía se denomina radiante y es transportada por las ondas electromagnéticas que viajan en el vacío a la velocidad de  $3 \times 10^8$  m/s.
- La radiación en la superficie de un cuerpo negro es un caso límite, en el que toda la energía incidente desde el exterior es absorbida, y toda la energía incidente desde el interior es emitida.
- Un cuerpo negro es aquel que emite un espectro térmico, cuya superficie absorbe la radiación térmica que incide sobre él y no la refleja.
- La hipótesis de Planck, establece que la energía de los osciladores está cuantizada. La energía de un oscilador de frecuencia  $f$  sólo puede tener ciertos valores que son  $0, 1hf, 2hf, 3hf, \dots, nhf$ ; siendo  $n = 0, 1, 2, \dots$  ( $n$ , es un número entero y  $h$  es la constante de Planck). Esta hipótesis fue formulada para dar una justificación al comportamiento de la radiación de un cuerpo negro cuando era sometido a diferentes temperaturas.
- El oscilador armónico es un sistema de partículas que experimenta un movimiento oscilatorio (o de vaivén) periódico.
- Vibrar con todas las frecuencias posibles, significa que el sistema oscilante puede tener diferentes frecuencias de acuerdo a su frecuencia característica de oscilación, la cual puede tomar un continuo de valores.
- El significado de que la energía radiante sea discreta y discontinua es que, de acuerdo a la hipótesis de Planck, sólo toma ciertos valores discretos que son

múltiplos enteros del producto de la constante de Planck por la frecuencia del oscilador.

**Áreas y / o temas a investigar**

- Hipótesis de Planck.
- Radiación del cuerpo negro.
- Oscilador armónico.
- Radiación Térmica.

**Fuentes de Información y consulta:**

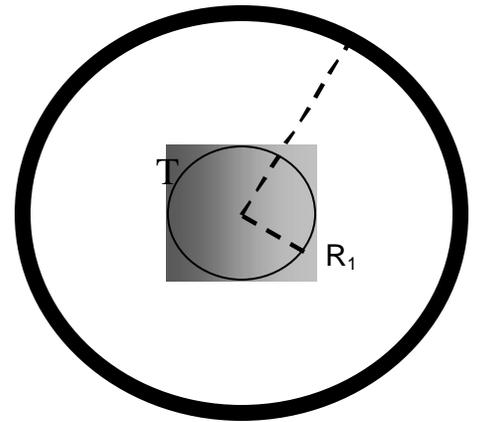
- Tappens, Paul E. (1985). *Física Conceptos y Aplicaciones*. (2ª. ed). México: McGraw-Hill.
- Dirección de INTERNET: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo\\_negro](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_negro)

## 5.1.2 PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA

A continuación, se presentan cinco problemas cuyo proceso de solución requiere que el alumno maneje los conceptos de: cuerpo negro, longitud de onda máxima, intensidad de radiación, energía de radiación, potencia de radiación. También debe tener una idea de lo que representan las leyes de: Desplazamiento de Wien, Stefan–Boltzmann, Rayleigh–Jeans, y la de Planck.

1. Supongamos que un cuerpo negro esférico de radio  $R_1 = 10 \text{ cm}$ , se encuentra a la temperatura  $T = 1200 \text{ K}$  debido a un mecanismo interno de generación de energía. Determine:

- ¿Cuál es la potencia de radiación total emitida por este objeto?
- ¿Cuál es la longitud de onda máxima de la radiancia espectral?



### Solución

#### **Traducción**

La potencia de radiación está estrechamente relacionada con la energía y la intensidad de radiación del cuerpo, las cuales se relacionan con la temperatura, asimismo, dicha radiación emitida tiene una longitud de onda que también se relaciona con esta temperatura. Para clarificar esto, se definen a continuación las variables y unidades que están relacionadas con éste fenómeno de radiación.

P: Potencia, se mide en watts (w),  $1 \text{ w} = 1 \text{ J/s}$ .

E: energía, se mide en joule (J),  $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

$I_{\text{max}}$ : Longitud de onda máxima, se mide en unidades de longitud (m, cm,  $\mu$ , etc.).

$\mu$ : micra, unidad de longitud,  $1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$ .

T: Temperatura del cuerpo negro, se mide en grados (K,  $^{\circ}\text{C}$ , etc.).  $T = 1200 \text{ K}$ .

A: Área de cuerpo negro esférico,  $A = 4\pi R_1^2$ , medida en  $\text{m}^2$ .

$R_1$ : Radio del cuerpo negro,  $R_1 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ .

$I$ : Intensidad de radiación, medida en unidades de  $\text{w/m}^2$ .

$a$ : Constante de desplazamiento de Wien,  $a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

$s$ : Constante de Stefan Boltzman,  $s = 5.663 \times 10^{-8} \text{ w}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}$ .

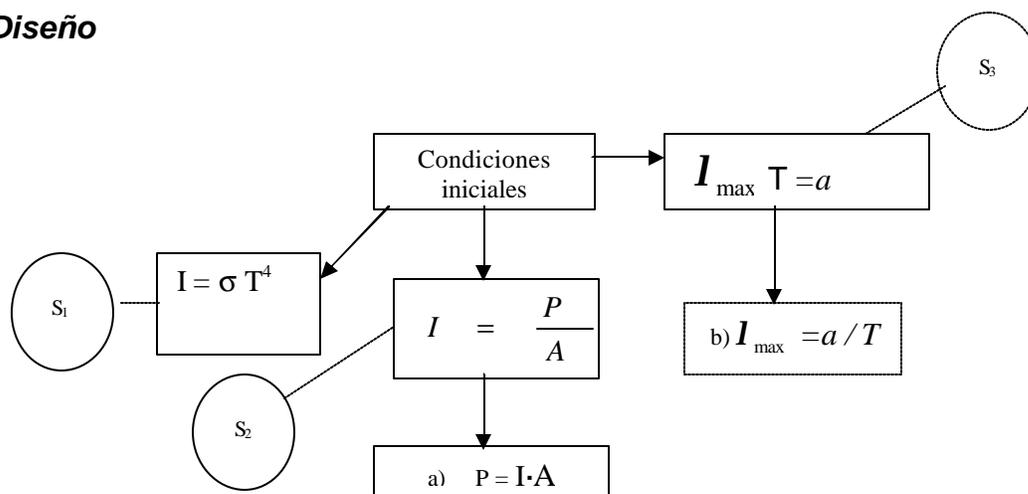
### Análisis

$S_1$ : Ley de Stefan-Boltzmann relaciona a la temperatura con la intensidad de radiación.

$S_2$ : La potencia se relaciona con la intensidad de radiación y el área del cuerpo.

$S_3$ : Ley de desplazamiento Wien relaciona a la temperatura con la longitud de onda máxima.

### Diseño



### Instrumentación

a)  $I = s \cdot T^4$

$$I = \frac{P}{A}$$

$$P = I \cdot A$$

$$P = s \cdot A \cdot T^4 = (5.663 \times 10^{-8} \text{ w}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}) \times [4\pi \times (0.1\text{m})^2] \times (1200 \text{ K})^4 = 1.475 \times 10^4 \text{ w}$$

b)  $I_{\text{max}} \cdot T = a$

$$I_{\max} = a / T = (2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}) / 1200 \text{ K} = 2.415 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.415 \mu.$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: En la traducción se establecieron las variables físicas que son las necesarias para encontrar la solución de este problema. Un problema que podría desprenderse del dibujo del cuerpo tratado en este problema, sería considerar que el Sol es el cuerpo emisor, para determinar la intensidad de radiación que llega hasta la Tierra.

R<sub>A</sub>: El análisis que se hizo fue muy corto, omitiéndose en las suposiciones la relación particular del área del cuerpo negro con su radio, por ser ésta muy obvia y por haberse establecido en la traducción. Si se considera la intensidad de radiación que llega a la Tierra, se tendría que considerar el radio del Sol, la distancia del Sol a la Tierra y el radio de ésta.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron las relaciones seguidas para determinar el modelo que nos permitió obtener la potencia y la longitud de onda máxima, siguiendo dos caminos distintos para resolver los incisos a y b. Aunque se omitió la obtención del área, las relaciones existentes fueron las necesarias para llegar a la solución de los incisos pedidos. Por otro lado, si se desea calcular la intensidad de radiación de un cuerpo hacia otro distinto, separado por cierta distancia, se tendría que modificar el diseño, considerando la relación de la intensidad de radiación con el radio del cuerpo y la distancia de separación al otro cuerpo.

R<sub>I</sub>: En la instrumentación se siguieron los pasos marcados en el diseño, sustituyendo sólo en dos ecuaciones, supuestamente conocidas, para obtener la solución pedida en los dos incisos.

2. ¿Existe relación entre la longitud de onda máxima y la intensidad de radiación en un cuerpo negro?

**Solución**

**Traducción**

La relación que pueda existir entre  $I_{\max}$  y la intensidad de radiación podría ser establecida considerando las leyes de radiación del cuerpo negro que contengan a ambas. Para desarrollar la explicación se definen a continuación las variables y unidades que se manejan para dar respuesta a esta pregunta.

$I_{\max}$  : Longitud de onda máxima, medida en unidades de longitud (m, cm, etc.).

I: Intensidad de radiación, medida en unidades de  $w/m^2$ .

$a$  : Constante de desplazamiento de Wien,  $a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

T: Temperatura del cuerpo negro, medida en grados (K, °C, etc.).

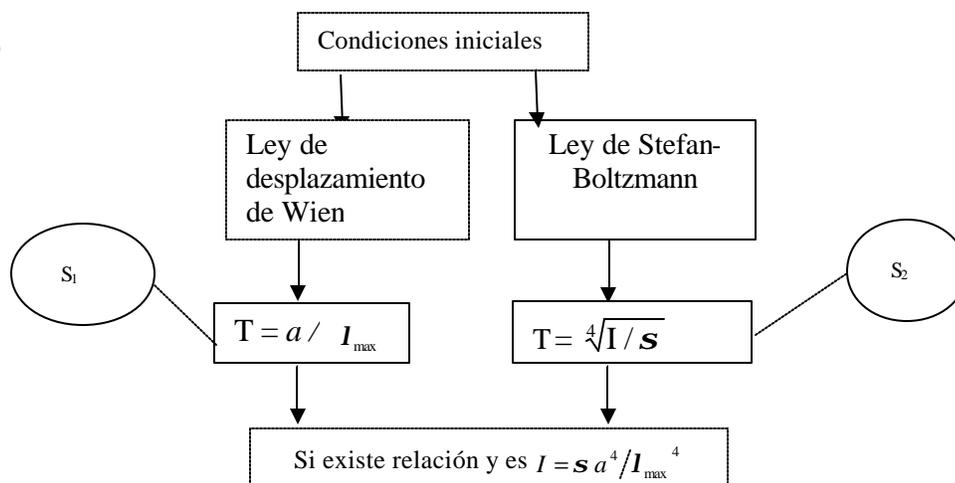
$s$  : Constante de Stefan Boltzman,  $s = 5.663 \times 10^{-8} \text{ w}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}$ .

**Análisis**

S<sub>1</sub>: La ley de desplazamiento de Wien establece que el producto de la longitud de onda máxima con temperatura es igual a una constante.

S<sub>2</sub>: La ley de Stefan-Boltzmann establece que la temperatura a la cuarta potencia es directamente proporcional a la intensidad de radiación.

**Diseño**



### ***Instrumentación***

$I_{\max} T = a$ , Ley de desplazamiento de Wien

$$T = a / I_{\max}$$

$I = T^4$ , Ley de Stefan-Boltzmann

$$T = \sqrt[4]{I/s}$$

Las dos leyes contienen la misma variable, la temperatura  $T$ , por lo que al igualar las expresiones de la temperatura y despejar la intensidad se obtiene  $I = \sigma \cdot a^4 / I_{\max}^4$ .

Por lo tanto, si existe relación entre la longitud de onda máxima y la intensidad de radiación en un cuerpo negro, ya que tienen una relación inversamente proporcional, es decir, cuando aumenta una disminuye la otra.

### ***Revisión***

$R_T$ : Las variables físicas establecidas fueron definidas para utilizar tanto la ley de Stefan-Boltzmann como la ley de desplazamiento de Wien.

$R_A$ : Únicamente se establecieron dos suposiciones, porque fueron las necesarias para determinar la temperatura y la Intensidad de radiación a partir de las dos leyes.

$R_D$ : El diseño, en este caso, consideró dos leyes, para obtener dos expresiones de la temperatura y así poder obtener la intensidad de radiación.

$R_I$ : En esta etapa se siguieron los pasos marcados en el diseño, obteniendo la expresión para la intensidad de radiación y estableciendo que sí hay relación entre la longitud de onda máxima y la intensidad de radiación.

3.- ¿Habrá diferencia entre la expresión de Wien y la de Rayleigh-Jeans para la radiación del cuerpo negro?

### **Solución**

#### ***Traducción***

Las expresiones para la intensidad de radiación del cuerpo negro de Wien y de Rayleigh-Jeans son las siguientes:

$$I_W = [C_1 \exp\{-C_2/(\lambda T)\}]/\lambda^5 ; \text{ con } \lambda < \lambda_M, \text{ donde } \lambda_M T = a.$$

$$I_{RJ} = [C_3 T]/\lambda^4, \text{ para } \lambda \text{ grandes.}$$

En éstas aparecen variables que son definidas a continuación.

$I_W$ : Intensidad de radiación determinada por la Ley de Wien.

$I_{RJ}$ : Intensidad de radiación determinada por la Ley Rayleigh–Jeans.

$a$ : Constante de desplazamiento de Wien,  $a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

$\lambda_M$ : Longitud de onda máxima, medida en unidades de longitud (m, cm,  $\mu$ , etc.).

$\lambda$ : Longitud de onda, medida en unidades de longitud (m, cm, mm,  $\mu$ , etc.).

$\mu$ : micra, unidad de longitud,  $1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$ .

T: Temperatura del cuerpo negro.

$C_1$ : Constante, coeficiente de la exponencial en la ley de Wien,  $C_1 = 2\pi^5 h c^2 / 15$ .

$C_2$ : Constante, coeficiente del exponente ( $1/\lambda T$ ) en la ley de Wien.  $C_2 = hc/k$ .

$C_3$ : Constante de Rayleigh–Jeans.  $C_3 = 2\pi^5 c k / 15$ .

c: Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

k: Constante de Boltzman,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ .

h: Constante de Planck,  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ .

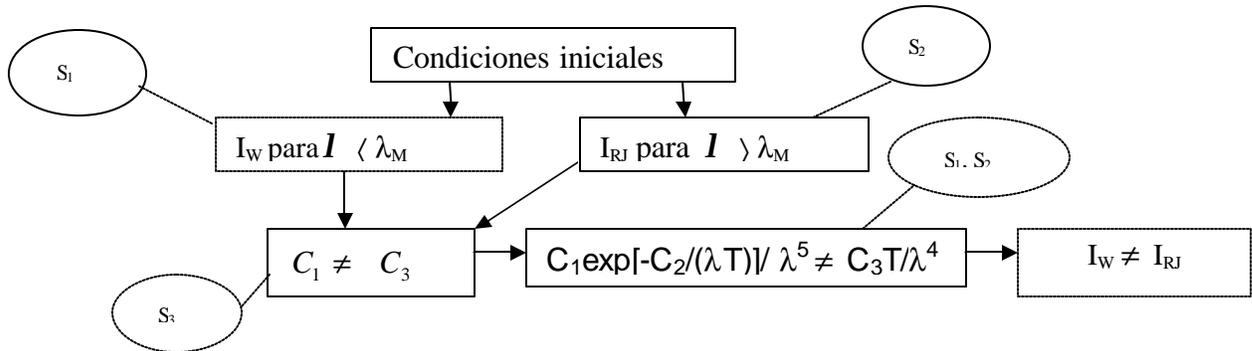
#### ***Análisis***

S<sub>1</sub>: La expresión de la intensidad de radiación del cuerpo negro en Ley de Wien depende de  $\lambda^5$  y de T, siendo válida para  $\lambda$  más pequeña que  $\lambda_M$ .

S<sub>2</sub>: La expresión de la intensidad de radiación del cuerpo negro en la Ley de Rayleigh–Jeans sólo es válida para  $\lambda$  grande, dependiendo de  $\lambda^4$  y de T.

S<sub>3</sub>: Las constantes que aparecen en las expresiones de las dos leyes son diferentes porque  $hc^2 \neq ck$  y la temperatura no es igual a la exponencial que depende de la temperatura.

### Diseño



### Instrumentación

$I_W = [C_1 \exp\{-C_2/(\lambda T)\}]/\lambda^5$ ; con  $I < \lambda_M$ , donde  $\lambda_M T = a$ .

$I_{RJ} = [C_3 T]/\lambda^4$ , para  $I$  grandes.

$C_1 \neq C_3$ , porque  $hc^2 \neq ck$ . Asimismo  $C_1 \exp[-C_2/(\lambda T)]/\lambda^5 \neq C_3 T/\lambda^4$ , entonces  $I_W \neq I_{RJ}$ .

Por lo tanto, al no ser iguales y sólo ser válidas para longitudes de onda diferentes, sí existe diferencia entre las dos expresiones.

### Revisión

R<sub>T</sub>: Las variables físicas en la traducción fueron definidas adecuadamente para establecer las expresiones, lo cual permitió encontrar las diferencias entre ellas.

R<sub>A</sub>: En el análisis se establecieron las suposiciones necesarias, mencionando las características de cada una de las expresiones, para dar sustento al diseño. Otra forma para determinar las diferencias de las dos expresiones, podría basarse en suposiciones hechas a partir de la siguiente gráfica:

Los puntos negros graficados son resultados experimentales de la intensidad de radiación del cuerpo negro en función de la longitud de onda, a una temperatura de 1600 K. Las dos líneas curvas entrecortadas representan resultados teóricos obtenidos a partir de las leyes de Wien y Rayleigh-Jeans, respectivamente.

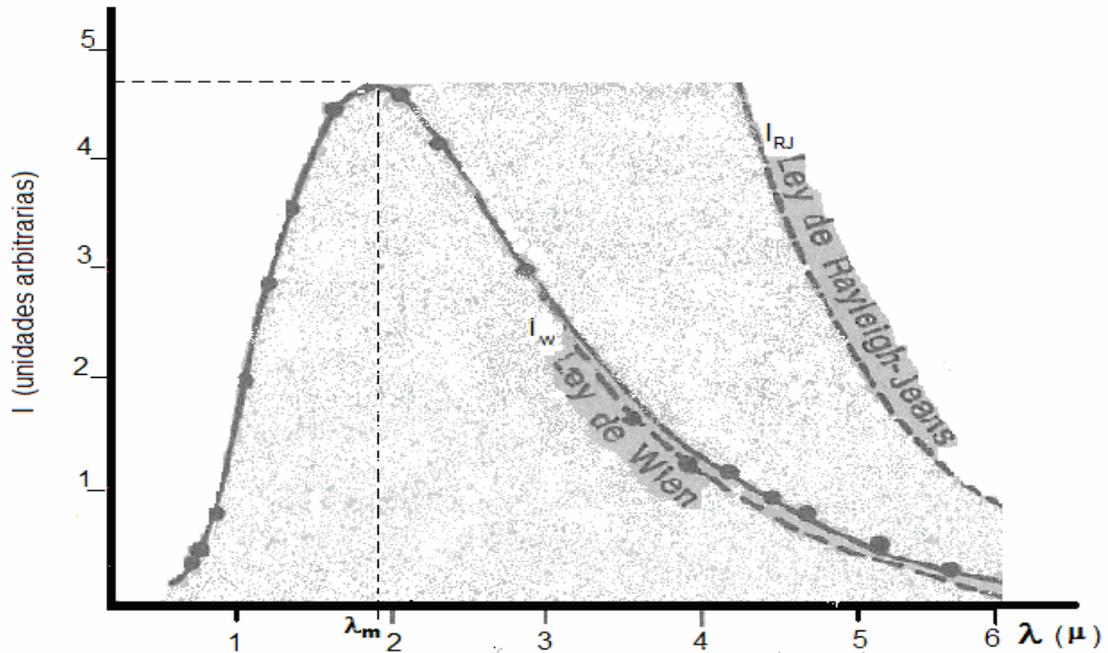


Fig. 4. Gráfica de Intensidad de radiación en función de la longitud de onda.

$R_D$ : Las relaciones establecidas en el diseño conducen a determinar las diferencias entre las dos expresiones para la obtención de la intensidad de la radiación del cuerpo negro. Si se considera la gráfica anterior, el diseño cambiaría, debiéndose tomar en cuenta los distintos intervalos de la longitud de onda, para observar el comportamiento de la intensidad de radiación en la gráfica y así establecer si existe diferencia.

$R_I$ : En esta etapa se tomaron en cuenta las expresiones establecidas para la obtención de la intensidad de la radiación de cuerpo negro y se determinó cuándo eran válidas, encontrando que sí existía diferencia entre éstas. Con la gráfica también se hubiera podido establecer que hay diferencias entre las expresiones de Wien y de Rayleigh-Jeans para la radiación del cuerpo negro, observando las distintas curvas de la intensidad de radiación en función de la longitud de onda.

4.- ¿Cuál fue la aportación que hizo Planck, que resolvió el problema de la radiación del cuerpo negro y por qué revolucionó la Física?

### **Solución**

#### ***Traducción***

La Física Clásica se encontró en una disyuntiva en el siglo XIX, porque los datos experimentales para la radiación del cuerpo negro no coincidían con los valores teóricos. Hubo la necesidad de encontrar una explicación a esto.

Se establecieron dos tipos de ecuaciones teóricas, que sólo coincidían con los valores experimentales en ciertas regiones. Mientras la ley de Wien ( $I_W$ ) resultó ser válida sólo para longitudes de onda pequeñas (límite de  $\lambda \rightarrow 0$ ), la de Rayleigh–Jeans ( $I_{R.J.}$ ) lo era para las longitudes de onda muy grandes (límite de  $\lambda \rightarrow \infty$ ). Debido a que Rayleigh y Jeans no pudieron explicar adecuadamente el comportamiento de la intensidad de radiación del cuerpo negro, a éste hecho lo llamaron catástrofe del ultravioleta.

Por otro lado, Stefan-Boltzmann encontró que la temperatura aumenta cuando crece la intensidad total de la radiación emitida.

También Planck decidió investigar para justificar este problema sobre la radiación del cuerpo negro. A partir de estos antecedentes, es necesario definir las variables que están involucradas en este problema.

$a$ : Constante de desplazamiento de Wien,  $a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$

$\lambda_M$ : Longitud de onda máxima.

$\lambda$ : Longitud de onda.

T: Temperatura del cuerpo negro.

$C_1$ : Constante, coeficiente de la exponencial en la ley de Wien.  $C_1 = 2\pi^5 h^6 c^2 / 15$

$C_2$ : Constante, coeficiente del exponente ( $1/IT$ ) en la ley de Wien.  $C_2 = hc/k$

$C_3$ : Constante de Rayleigh–Jeans.  $C_3 = 2\pi^5 ck$

$h$ : Constante de Planck.

$E$ : Energía.

$n$ : Es la frecuencia característica del oscilador.

$n$ : Número cuántico,  $n = 1, 2, \dots$

$c$ : Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

$k$ : Constante de Boltzman,  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J·K<sup>-1</sup>.

$I_W$ : Intensidad de radiación determinada por la ley de Wien.

$I_{RJ}$ : Intensidad de radiación determinada por la ley Rayleigh–Jeans.

### **Análisis**

S<sub>1</sub>: Un cuerpo negro es un objeto físico que absorbe toda la energía que incide en él y no pierde energía por reflexión ni transmisión sólo por emisión.

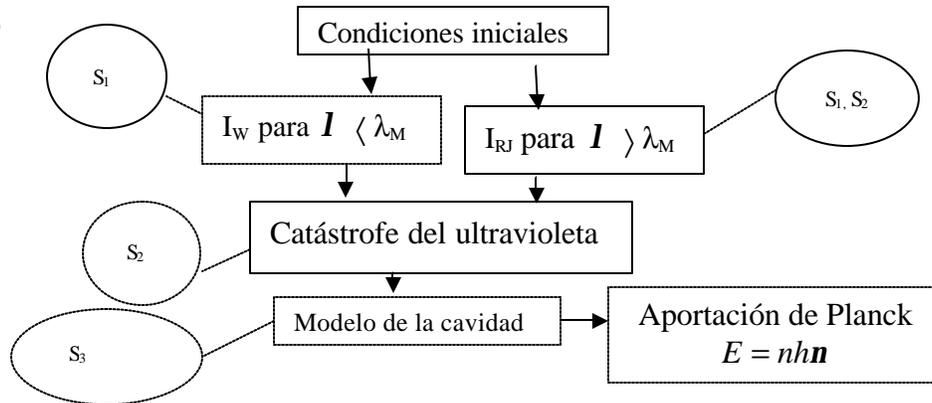
S<sub>2</sub>: La catástrofe del ultravioleta es el problema que surge porque Rayleigh y Jeans fueron incapaces de explicar la distribución de energía observada experimentalmente en el espectro de la radiación del cuerpo negro.

S<sub>3</sub>: Al calentarse un cuerpo negro puede emitir energía.

S<sub>4</sub>: Para cada valor de la longitud de onda, la intensidad de la radiación emitida por el cuerpo negro sólo depende de la temperatura, es decir, es independiente del material del que está hecha la cavidad que constituye al cuerpo negro, lo cual permite construir un modelo simplificado del mismo.

S<sub>5</sub>: El modelo teórico de la cavidad está constituido por un conjunto de osciladores armónicos, en el que cada uno de ellos está representado por su frecuencia característica  $n$ , según suposición de Planck.

## Diseño



## Instrumentación.

La ley de Wien ( $I_W = [C_1 \exp\{-C_2/(\lambda T)\}]/\lambda^5$ ) resultó ser válida sólo para longitudes de onda pequeñas (límite de  $\lambda \rightarrow 0$ ) y la de Rayleigh–Jeans ( $I_{RJ} = [C_3 T]/\lambda^4$ ) para longitudes de onda muy grandes (límite de  $\lambda \rightarrow \infty$ ). Los elementos con que contó la Física Clásica, en ese momento, fueron insuficientes para justificar tal comportamiento.

Planck decidió investigar la contradicción anterior, estableciendo un modelo de la cavidad, la cual se consideró constituida por un conjunto de osciladores armónicos, cada uno de ellos representado por su frecuencia característica  $n$ .

Considerando lo anterior, Planck estableció la hipótesis que los intercambios de energías sólo podrán ser valores discretos representados por un múltiplo entero de la cantidad  $h\nu$ , correspondiente a lo que se denominará un cuanto de energía. Obteniendo su constante  $h$  en la cuantización de la energía  $E = nh\nu$ . Esta fue la aportación de Planck, que dio origen a la Física Moderna.

Esta hipótesis revolucionó a la Física, porque introdujo un nuevo concepto el cuanto y la cuantización de la energía, que dieron la pauta para el inicio de la Mecánica Cuántica, dejando atrás los viejos conceptos de la Mecánica Clásica.

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: En la traducción se establecieron todos los elementos y las variables que fueron necesarias para explicar la aportación de Planck a la Física.

R<sub>A</sub>: Las hipótesis fueron planteadas con la finalidad de sustentar las expresiones propuestas en el diseño, las cuales permitirían determinar cuál fue la aportación de Planck.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron las distintas expresiones que se relacionaron para describir la aportación de Planck.

R<sub>I</sub>: En la implementación se siguieron los pasos marcados en el diseño, para encontrar la aportación de Planck y para dar la justificación de por qué revolucionó la Física de su tiempo, partiendo de la necesidad de justificar el comportamiento de la radiación del cuerpo negro.

5.- ¿Cómo se relaciona la intensidad de radiación del cuerpo negro con la longitud de onda y la temperatura?

### **Solución**

#### ***Traducción***

La intensidad de radiación es la energía emitida en cada segundo por  $\text{cm}^2$ , ésta puede ser estimada por las expresiones de Wien, Rayleigh-Jeans, Stefan Boltzman y Planck. Las tres primeras tienen ciertas condiciones y la de Planck determina sin restricciones la intensidad de radiación del cuerpo negro. Para identificar dichas expresiones, se definen a continuación las variables de éstas.

T: Temperatura del cuerpo negro.

$a$ : Constante de desplazamiento de Wien,  $a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

$\lambda_M$ : Longitud de onda máxima.

$I$ : Longitud de onda.

$C_1$ : Constante, coeficiente de la exponencial en la ley de Wien.  $C_1 = 2\pi h c^2$ .

$C_2$ : Constante, coeficiente del exponente ( $1/IT$ ) en la ley de Wien.  $C_2 = \frac{ch}{k}$ .

$C_3$ : Constante de Rayleigh-Jeans.  $C_3 = 2\pi ck$

$I_W$ : Intensidad de radiación determinada por la Ley de Wien

$I_{RJ}$ : Intensidad de radiación determinada por la Ley Rayleigh-Jeans.

k: Constante de Boltzman,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ .

h: Constante de Planck,  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ .

c: Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

hc: Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{Å}$ .

$s$ : Constante de Stefan-Boltzmann,  $s = 5.663 \cdot 10^{-8} \text{ w}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}$ .

$I_P$ : Intensidad de radiación determinada por Planck.

$I_{SB}$ : Intensidad de radiación determinada por Stefan-Boltzmann.

#### ***Análisis***

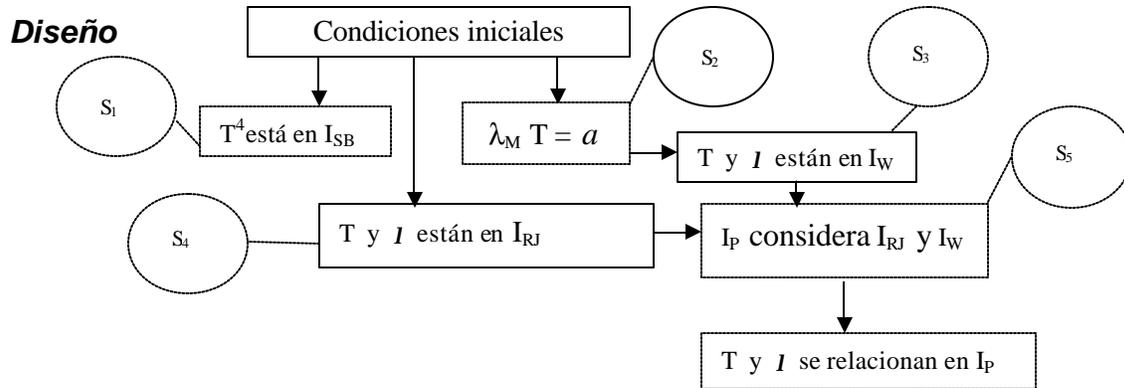
S<sub>1</sub>: La Ley de Stefan-Boltzmann relaciona a T con la intensidad de radiación.

S<sub>2</sub>: El producto de  $\lambda_M T$  es constante para todos los máximos de la intensidad.

S<sub>3</sub>: La expresión de Wien es válida para  $I \ll \lambda_M$ , en ésta la intensidad de radiación se relaciona con  $I^5$  y con una exponencial cuyo exponente depende de  $I T$ .

S<sub>4</sub>: La intensidad de radiación es directamente proporcional a T es inversamente proporcional a  $I^4$  en la relación de Rayleigh–Jeans, siendo válida para  $I$  grandes.

S<sub>5</sub>: Las expresiones de la intensidad de radiación del cuerpo negro de Rayleigh–Jeans y de Wien fueron consideradas para establecer la expresión de Planck.



### Instrumentación

$T^4$  esta en  $I_{SB} = \sigma T^4$  pero no se puede establecer directamente relación con la  $\lambda$ .

$\lambda_M T = a$ , ésta expresión está relacionada con la Intensidad de radiación máxima.

T y  $\lambda$  están en  $I_W = \{C_1 \exp[-C_2/(\lambda T)]\} \lambda^5$ , la cual es válida para  $I \ll \lambda_M$ .

T y  $\lambda$  están en  $I_{RJ} = [C_3 T] / \lambda^4$ , ésta es válida para  $I$  grandes.

Planck consideró las expresiones  $I_{RJ}$  y  $I_W$  para establecer la expresión de la

$I_P = [2\pi hc^2 / \lambda^5] / [\exp(ch/k\lambda T) - 1]$ , esta contiene a la temperatura y la longitud de onda, relacionándolas en un producto de exponencial inversa,  $\lambda^{-5}$  y una constante.

### Revisión

R<sub>T</sub>: Las variables establecidas en la traducción fueron las necesarias para describir las expresiones que relacionaban a la intensidad de radiación con la temperatura y la longitud de onda.

R<sub>A</sub>: En esta etapa se pudo haber considerado la gráfica siguiente, para hacer algunas suposiciones que relacionaran a la intensidad de radiación con la longitud de onda.

Intensidad de radiación emitida por un cuerpo negro en función de la longitud de onda, para cuatro diferentes temperaturas.

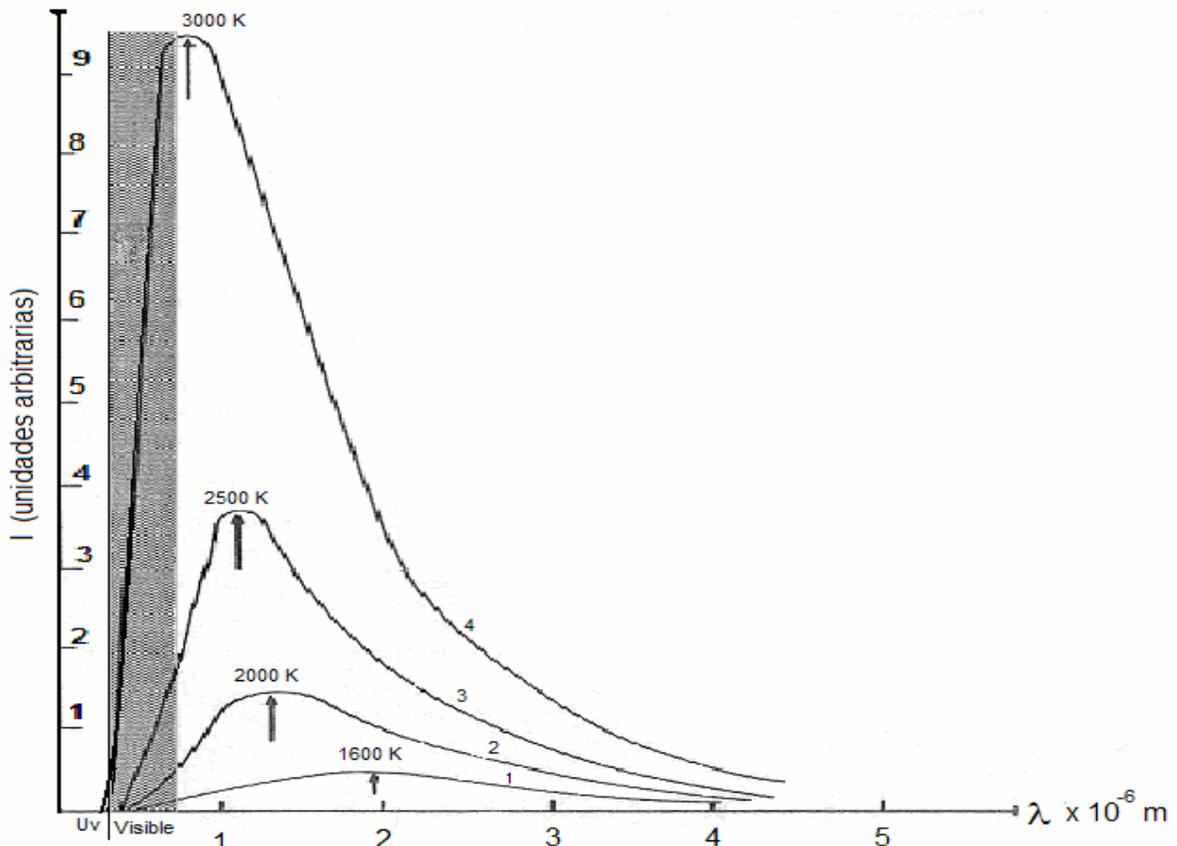


Fig. 5. Gráfica de la intensidad de radiación en función de la longitud de onda.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron las expresiones que relacionaban la intensidad de radiación con la temperatura y la longitud de onda.

R<sub>I</sub>: La instrumentación siguió los pasos marcados en el diseño, llegando a establecer la relación entre la intensidad de radiación con la temperatura y la longitud de onda de forma general en la ley de Planck.

## 5.2 PROBLEMAS REFERIDOS AL EFECTO FOTOELÉCTRICO

En esta sección trataremos primero una situación ABP y posteriormente cinco problemas resueltos con el método TADIR.

La situación presentada aquí, se desarrolla tomando en cuenta posibles vivencias de los alumnos en el ámbito escolar; asimismo, introduce elementos que conducirán a definir los conceptos inmersos en el tema de Efecto Fotoeléctrico.

En esta situación ABP sólo se considerarán las pistas relevantes, entendiéndose que sólo se anotarán las que tengan más importancia para la Física Moderna y que permitan detectar las variables físicas en la situación.

### 5.2.1 SITUACIÓN ABP APLICADA EN ESTE TEMA

#### *MATERIAL PARA EL TUTOR*

### **EFECTO MÁGICO DE LA LUZ**

Juan es un estudiante curioso, que le fascinan los efectos que producen la luz, por eso es coleccionista de lámparas, un día al final de la clase, estando en el laboratorio, encendió una lámpara con luz de cierto color, dirigió la luz sobre una superficie metálica acoplada a un circuito (el circuito era parte de un experimento de física moderna de otro profesor que no era el suyo), cuando la luz incidió en la superficie, un haz de electrones fue emitido desde la superficie (observándose un chispazo), él se sorprendió y en el acto apaga esa lámpara. Es tanta su curiosidad que saca otra lámpara diferente y la enciende haciendo incidir luz sobre la misma superficie, ahora él nota que no se produjo ningún efecto, en ese momento llega el profesor de la siguiente clase, por lo que él tiene que salir precipitadamente, quedándose con una gran duda acerca de este efecto mágico.

**Pistas / hechos /datos orientadores:**

- Encendió una lámpara con luz de cierto color.
- Dirigió la luz de la lámpara sobre una superficie metálica acoplada a un circuito
- Un haz de electrones fue emitido desde la superficie acoplada al circuito, notando esto al observar un chispazo.

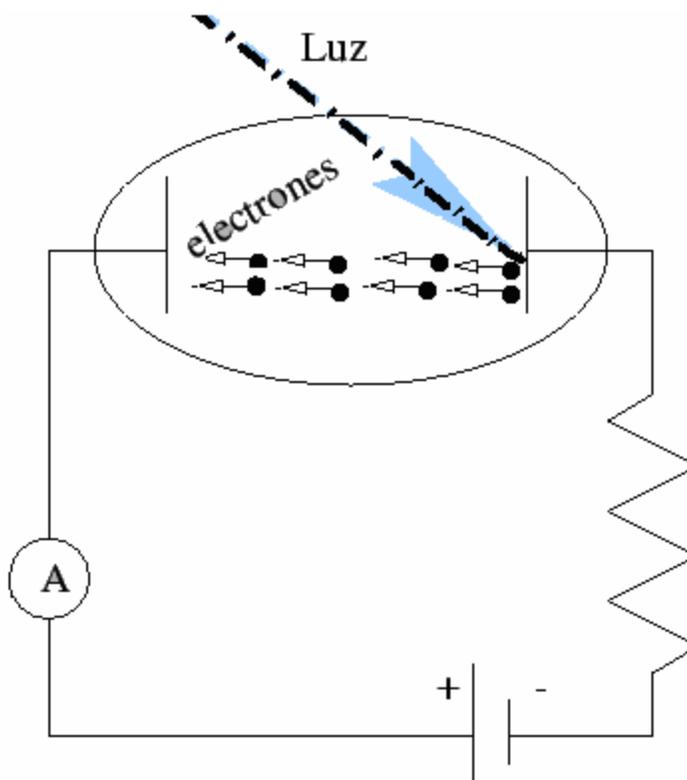


Fig. 6. Circuito eléctrico, en el cual incide luz, para provocar emisión de electrones.

- Saca otra lámpara diferente y la enciende haciendo incidir luz sobre la misma superficie, ahora él nota que no se produjo ningún efecto.

**Problema (s):**

- ¿Qué es la luz?
- ¿Qué caracteriza a la luz de colores?
- ¿Qué es un fotón?
- ¿Cómo se le llama al efecto de emisión de electrones desde una superficie metálica, cuando se hace incidir luz de cierto color?

- ¿Dependerá de la intensidad luminosa que incide en una superficie la emisión de electrones desde ésta, o de qué depende?

**Hipótesis y / o explicaciones:**

- No hay una definición exacta de la luz.
- La frecuencia y la longitud de onda son propiedades físicas que caracterizan a la luz.
- Un fotón es una partícula que no tiene carga y su masa en reposo es nula, moviéndose continuamente a la velocidad de la luz.
- Se le llama efecto fotoeléctrico a la emisión de electrones desde una superficie metálica, que se produce al hacer incidir luz de cierto color (con frecuencia mayor o igual a la frecuencia de umbral) en esa superficie.
- La emisión de electrones depende de la frecuencia de umbral de la luz incidente.

**Áreas y / o temas a investigar:**

- Efecto fotoeléctrico.
- Circuitos eléctricos.
- Efectos de la Luz.

**Fuentes de Información y consulta:**

- Tippens, Paul E. (1985). *Física Conceptos y Aplicaciones*. (2ª. ed.). México: McGraw-Hill.
- Dirección de INTERNET:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

## 5.2.2 PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA

Para este tema se diseñaron seis problemas, los cuales requieren que los alumnos manejen los conceptos de: fotón, efecto fotoeléctrico, energía del fotón, balance de energía, potencia, función de trabajo, frecuencia y longitud de onda de umbral, para poder determinar la solución de cada uno de ellos.

A continuación se presentan estos problemas con enunciado y su solución aplicando el método TADIR.

1. La señal de una estación de radio tiene una frecuencia de 105 MHz y potencia de salida de 210 Kw. Calcular el número de fotones emitidos en cada segundo por la estación.

### **Solución**

#### ***Traducción***

La frecuencia es una propiedad de la onda que tiene relación con el tiempo y la energía de emisión y por consiguiente esta conectada con la Potencia. A continuación se describen las variables que se relacionan con el número de fotones emitidos por segundo.

f: Frecuencia,  $f = 105 \text{ MHz}$

P: Potencia,  $P = 210 \text{ Kw}$ .

E: Energía.

h: Constante de Planck,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

Kw: Kilowatt,  $1 \text{ Kw} = 10^3 \text{ w}$ .

w: Watt, unidad de potencia,  $1 \text{ w} = 1 \text{ J/s}$ .

J: Joule, unidad de energía.

Hz: Hertz, unidad de frecuencia,  $1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$

s: Segundo.

MHz: Mega Hertz,  $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ .

$n_{f/s}$ : Número de fotones/s.

## Análisis

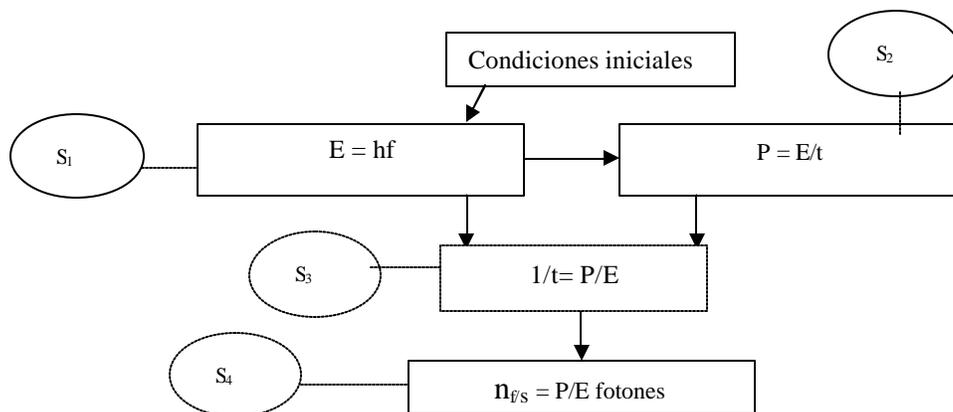
S<sub>1</sub>: La energía de cada fotón puede ser determinada conociendo la frecuencia de la señal en la estación.

S<sub>2</sub>: La potencia de salida de la señal desde la estación es la relación de la energía de emisión de cada fotón en cierto tiempo.

S<sub>3</sub>: El inverso del tiempo puede ser determinado a partir de la potencia y la energía de emisión.

S<sub>4</sub>: El inverso del tiempo se relaciona directamente con el número de fotones emitidos en cada segundo.

## Diseño



## Instrumentación

Considerando el dato de la frecuencia y de la potencia de salida, para obtener la solución, se procede a sustituir en las relaciones siguientes:

$$E = f h,$$

Sustituyendo los valores, se tiene que:

$$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(105 \times 10^6 \text{ s}^{-1}) = 6.96 \times 10^{-26} \text{ J}$$

La potencia de emisión es  $P = E/t$

Despejando se tiene que el inverso del tiempo es  $1/t = P/E$ , por consiguiente

$$n_{f/s} = P/E = (210 \times 10^3 \text{ J/s}) / (6.96 \times 10^{-26} \text{ J}) = \underline{\underline{3.017 \times 10^{30} \text{ fotones/s}}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: Al revisar la traducción, se aprecia que las variables físicas se identificaron adecuadamente y que se definieron correctamente sus unidades para asociarlas con los datos del problema. Sin embargo, podría omitirse el definir algunas unidades en la traducción, dependiendo del manejo que se tengan de éstas.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones se pueden reducir a tres, dependiendo del grado de dominio de los conceptos y el manejo de las relaciones entre las variables físicas. Aquí lo importante es que se aplique el concepto de energía por fotón.

R<sub>D</sub>: El diseño se podría cambiar de acuerdo a las modificaciones que se hagan del análisis.

R<sub>i</sub>: La implementación de la solución requiere conocer la relación de la energía con la frecuencia, establecer la relación que existe entre la potencia y el número de fotones por segundo, para calcular el valor de éste. Por lo tanto, la energía de cada fotón emitido tiene relación con la potencia de salida, por esto, al variar la frecuencia se varía la potencia.

2. a) Determinar el valor de la función trabajo del sodio a partir de los datos mostrados en la gráfica de la fig. 7. b) ¿Podrías encontrar el valor de la constante de Planck  $h$ , a partir de los datos disponibles en esta gráfica? Si la respuesta es sí, encuentra este valor y utilízalo para determinar la función trabajo.

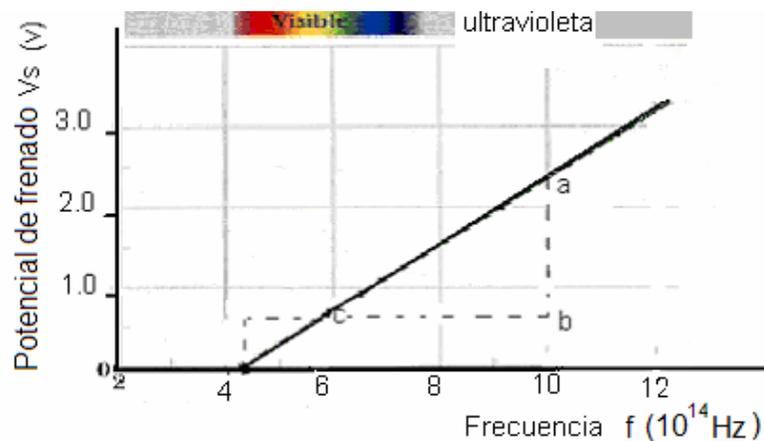


Fig. 7. Gráfica que muestra el voltaje de frenado en función de la frecuencia.

### **Solución**

#### ***Traducción***

La función trabajo es la energía mínima que se requiere para tener sujeto al electrón en el material. A continuación se establecen las variables que intervienen en la gráfica y que son necesarias para determinar la función trabajo.

a, b y c: Son los vértices de uno de los triángulos que se forman en la gráfica.

f: Frecuencia.

$V_s$ : Potencial de frenado.

$V_{sc}$ : Potencial de frenado en el punto c,  $V_{sc} = 0.7$  v.

$V_{sa}$ : Potencial de frenado en el punto a,  $V_{sa} = 2.3545$  v.

$V_{sb}$ : Potencial de frenado en el punto b,  $V_{sb} = 0.7$  v

$f_a$ : Frecuencia en el punto a,  $f_a = 10 \times 10^{14}$  Hz.

$f_b$ : Frecuencia en el punto b,  $f_b = 10 \times 10^{14}$  Hz.

$f_c$ : Frecuencia en el punto c,  $f_c = 6 \times 10^{14}$  Hz.

$f_0$ : Frecuencia de umbral es frecuencia de umbral es la frecuencia mínima a la que se puede emitir fotones,  $f_0 = 4.3076 \times 10^{14}$  Hz.

eV: Electrón volt,  $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

h: Constante de Planck.

### Análisis

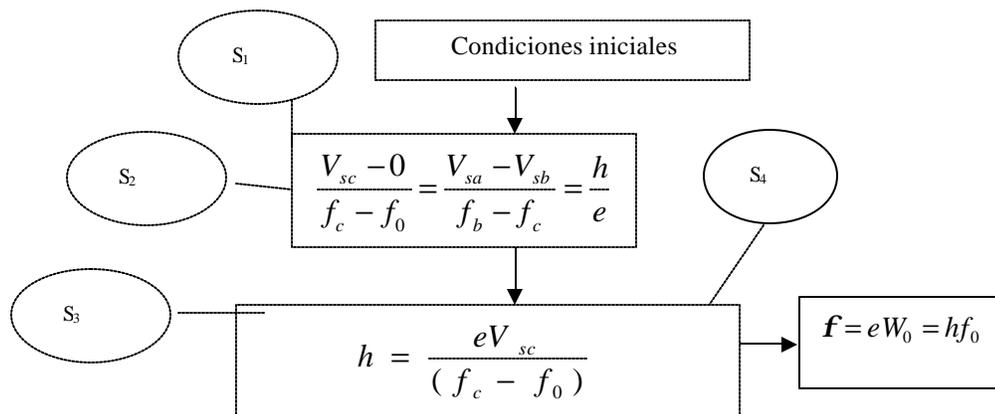
S<sub>1</sub>: La pendiente de la recta en la gráfica se determina con la relación de la tangente de cualquiera de los triángulos formados con las líneas punteadas, la cual relaciona los voltajes con las frecuencias.

S<sub>2</sub>: La energía puede ser determinada por la variación de voltaje multiplicado por la carga el electrón, por lo cual h/e es la pendiente de la recta de esta gráfica.

S<sub>3</sub>: La recta del voltaje de frenado en función de la frecuencia de emisión cruza en la frecuencia de umbral.

S<sub>4</sub>: La frecuencia de umbral y la constante de Planck tienen relación con la función de trabajo.

### Diseño



### Instrumentación

$$\frac{h}{e} = \frac{V_{sc}}{(f_c - f_0)} ; h = \frac{eV_{sc}}{(f_c - f_0)} = \frac{e(0.7V)}{(6 \times 10^{14} \text{ Hz} - 4.3076 \times 10^{14} \text{ Hz})} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV s} = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Sí es posible establecer el valor de h con los datos de la gráfica. Entonces,

$$f = eW_0 = hf_0 = (6.62 \times 10^{-34} \text{ Js})(4.3076 \times 10^{14} \text{ Hz}) = \underline{\underline{2.85 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.782 \text{ eV}}}$$

### **Revisión**

$R_T$ : Las variables enunciadas que fueron utilizadas en este problema se pueden reducir, considerando sólo las que nos permitan hacer el cálculo de la constante de Planck y la función de trabajo. También podrían aumentar dependiendo de que se pregunte, por ejemplo, si se quisiera determinar dónde corta la recta al ser prolongada en el eje del potencial de frenado y qué significado tiene esto. En este caso tendría que ser establecida una variable más.

$R_A$ : Las suposiciones en el análisis podrían ser aumentadas dependiendo de los conceptos que se tengan sobre el balance de energía y qué se tiene que hacer para lograr establecer la relación de la constante de Planck con la carga del electrón, así como obtener la relación de la pendiente de la recta de esta gráfica y dar el significado físico a ésta y a la ordenada al origen, si se pidiera ésta última en el enunciado del problema.

$R_D$ : El diseño depende de las suposiciones establecidas en el análisis, siendo en este caso, aparentemente muy corto, pero incluyendo todo lo necesario para establecer el valor de la constante de Planck y para determinar la función de trabajo. Por otro lado, si se pidiera establecer el valor de la ordenada al origen y su significado, el diseño se extendería un poco más para contener los pasos necesarios que conduzcan a la respuesta.

$R_i$ : En esta etapa se encuentra el valor de  $h$  después se utiliza este valor para encontrar la función trabajo. Si no se hubiera hecho la pregunta de: ¿es posible establecer el valor de  $h$  con los datos de la gráfica?, la función trabajo podría haber sido determinada, sustituyendo el valor de la constante  $h$ , conocida de antemano en la relación de energía de umbral.

3. ¿Cuál será el tiempo requerido por cada átomo para que absorba una energía igual a su función trabajo de 2 eV, de acuerdo con la interpretación ondulatoria de la luz?, cuando una superficie de potasio se encuentra a 80 cm de una lámpara incandescente de 60W (potencia consumida), considerando que la energía irradiada por la lámpara es el 10% de la potencia de entrada y que cada átomo de potasio es un disco circular de 1 Å de diámetro.

### **Solución**

#### ***Traducción***

Para iniciar, primero se establecen las variables que se relacionan con el tiempo, la potencia y la energía.

A: Área de emisión esférica,  $A = 4\pi r^2$

$A_A$ : Área del átomo  $A_A = \pi \frac{d^2}{4}$

d: Diámetro del átomo,  $d = 1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ .

r: Distancia a la lámpara,  $r = 0.8 \text{ m}$

P: Potencia,  $P = 60 \text{ w}$ .

E: Energía absorbida.

$f$ : Función trabajo,  $f = 2 \text{ eV}$ ;  $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

t: Tiempo requerido.

#### ***Análisis***

S<sub>1</sub>: Si el foco es una fuente puntual el área de emisión de luz se puede considerar esférica.

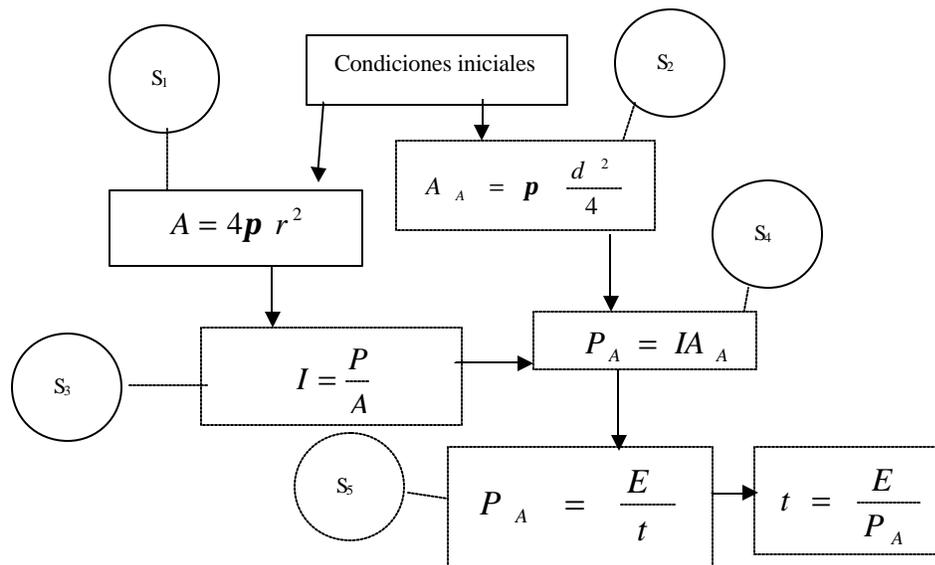
S<sub>2</sub>: Para un disco circular el área se determina a partir de un cuarto del diámetro al cuadrado multiplicado por  $\pi$ .

S<sub>3</sub>: La intensidad desde la lámpara a la superficie se determina a partir de la potencia de la lámpara entre el área de emisión.

S<sub>4</sub>: La potencia incidente sobre cada átomo es obtenida a partir de la intensidad por el área de cada átomo.

S<sub>5</sub>: La potencia incidente sobre el átomo se relaciona con la energía absorbida o función trabajo y el tiempo.

### Diseño



### Instrumentación

Los valores de las respectivas áreas son:

$$A = 4p r^2 = 4p(0.8m)^2 = 8.042477m^2; \quad A_A = p \frac{d^2}{4} = p \frac{(1 \times 10^{-10} m)^2}{4} = 7.8539 \times 10^{-21} m^2$$

$$\text{Ahora calculemos la Intensidad } I = \frac{P}{A} = \frac{(60 w)(0.1)}{8.042477 m^2} = 0.746 \frac{w}{m^2}$$

$$\text{La potencia por átomo será } P_A = I A_A = (0.746 \frac{w}{m^2})(7.8539 \times 10^{-21} m^2) = 5.85 \times 10^{-21} w.$$

$$P_A = \frac{E}{t}, \text{ con lo cual el tiempo es } t = \frac{E}{P_A} = \frac{f(1.6 \times 10^{-19} J/eV)}{P_A} = \frac{(2.0 eV)(1.6 \times 10^{-19} J/eV)}{5.85 \times 10^{-21} J/s} = \underline{\underline{57.55 s.}}$$

### Revisión

R<sub>T</sub>: En esta etapa, quizá se pueda omitir la información sobre la obtención de las áreas, cuando ya se tiene más práctica en la solución de problemas geométricos. En el caso de que se domine más la teoría, este problema podría adaptarse para determinar el tiempo de apertura de una puerta de un elevador, considerando el mismo mecanismo del problema.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones en la etapa de análisis son las adecuadas para este problema. Por otro lado, si se considerara la superficie del átomo de forma diferente a la circular, el área de incidencia cambiaría, por lo cual el tiempo pedido sería diferente.

R<sub>D</sub>: En el diseño se podría omitir las relaciones de las áreas, para establecer directamente las relaciones de la intensidad, esto podría ser posible si el alumno estuviera familiarizado previamente con las relaciones de las áreas desde sus cursos de matemáticas. Además, al considerar que la superficie de incidencia en el átomo fuera de otra forma, haría dudar a los alumnos al buscar la solución; no obstante, otros encontrarían resultados diferentes para el mismo problema.

R<sub>I</sub>: La etapa de instrumentación podría ajustarse a los pasos marcados en el diseño, considerando los cambios propuestos. En el cálculo del tiempo se ha supuesto que toda la energía incidente fue absorbida.

4. Determinar el número de electrones emitidos desde una superficie de sodio, iluminada con luz ultravioleta de intensidad de  $4 \text{ W/m}^2$  y longitud de onda  $2500 \text{ \AA}$ .

**Solución**

**Traducción**

El número de electrones emitidos tiene relación con las siguientes variables:

$\lambda$  : Longitud de onda,  $\lambda = 2500 \text{ \AA}$ ;  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ .

hc: Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3 \text{ eV} \cdot \text{\AA}$ .

I: Intensidad,  $I = 4 \text{ W/m}^2$ .

E: Energía.

$n_{e/s}$ : Número de electrones emitidos en cada segundo.

$n_{f/s}$ : Número de fotones emitidos en cada segundo.

**Análisis**

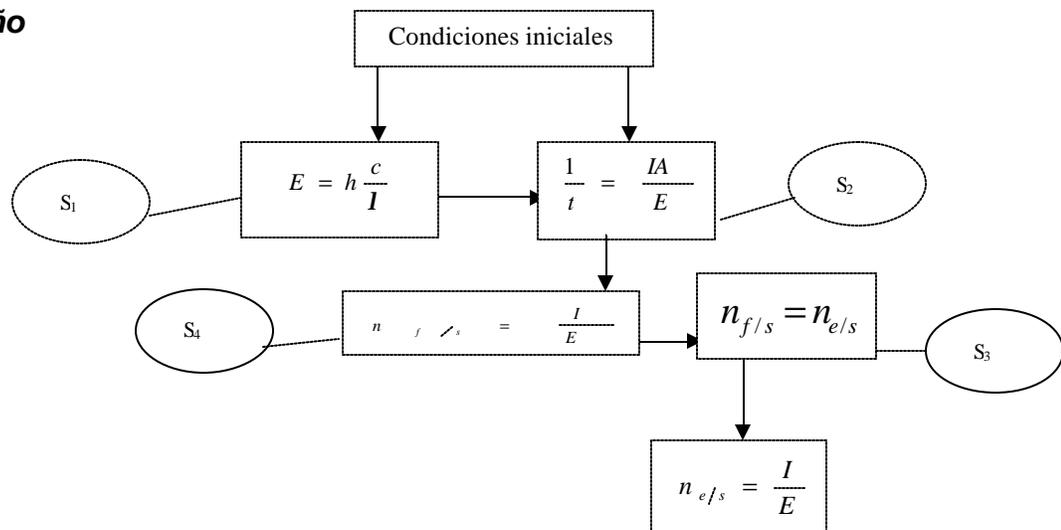
S<sub>1</sub>: La energía de los fotones incidentes está relacionada con su longitud de onda.

S<sub>2</sub>: La intensidad de la luz tiene relación con la energía, el área y el tiempo.

S<sub>3</sub>: Por cada fotón se libera un electrón.

S<sub>4</sub>: El número de electrones emitidos por unidad de área por segundo tiene relación con la intensidad y la energía.

**Diseño**



### **Instrumentación**

$$E = h \frac{c}{\lambda} = \frac{12.4 \times 10^3 \text{ eV}\text{\AA}}{2500 \text{\AA}} = 4.96 \text{ eV} = 7.94 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\frac{1}{t} = \frac{IA}{E}$$

$$n_{f/s} = \frac{1}{tA} \text{ fotones} = \frac{I}{E} \text{ fotones} = \frac{4 \text{ W/m}^2}{7.94 \times 10^{-19} \text{ J / fotón}} = \frac{4 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}}{7.94 \times 10^{-19} \text{ J / fotón}} = 5.04 \times 10^{18} \frac{\text{fotones}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$n_{e/s} = n_{f/s} = \frac{I}{E} = 5.04 \times 10^{18} \frac{\text{electrones}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: La etapa de traducción puede simplificarse, omitiendo algunas equivalencias y variables ya manejadas antes. Suponiendo que cambiara el material de la superficie, las variables por definir serían las mismas. Por otro lado, si se conociera el área y el tiempo de emisión podría establecerse el número efectivo de los electrones emitidos.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones hechas en esta etapa fueron las necesarias para poder justificar las relaciones establecidas con la intensidad, la energía y el área de la superficie, las cuales permiten dar un sustento al diseño.

R<sub>D</sub>: La etapa del diseño está de acuerdo con las hipótesis, estableciendo la relación entre la intensidad y la energía para determinar el número de electrones emitidos.

R<sub>i</sub>: Aunque la etapa de instrumentación se basó en el diseño, es muy corta, porque sólo se determinó el valor de la energía y el número de electrones por unidad de área, lo cual dio la solución a este problema. Por otro lado, si se aumentará la intensidad de la luz, se obtendría un mayor número de electrones emitidos desde la superficie.

5. ¿Cuál será la longitud de onda umbral para la emisión de fotoelectrones desde la superficie de cadmio, si su función trabajo es 4.07 eV?

**Solución**

**Traducción**

La longitud de onda de umbral se relaciona con la energía mínima para que haya emisión de electrones desde la superficie donde incide la luz. A continuación se enuncian las variables necesarias para continuar con la siguiente etapa.

$\lambda_0$ : Longitud de onda de umbral

$\phi$ : Función trabajo,  $\phi = 4.07\text{eV}$ ;  $1\text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{ J}$ .

$hc$ : Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3\text{ eV}\cdot\text{Å}$ .

$E_0$ : Energía de umbral.

$V_s$ : Potencial del frenado.

**Análisis**

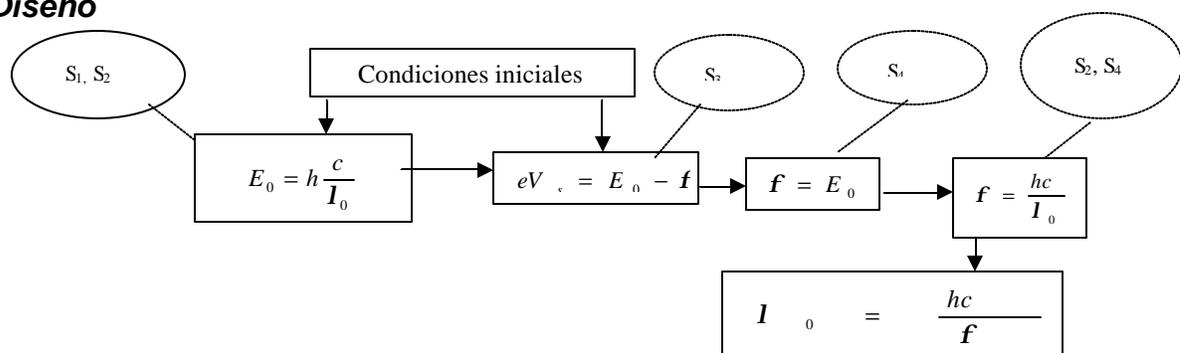
S<sub>1</sub>: La longitud de onda de umbral es la longitud máxima permitida para que haya emisión de electrones.

S<sub>2</sub>: La energía de umbral está relacionada con la longitud de onda de umbral.

S<sub>3</sub>: El balance de energía del fenómeno de emisión nos dice que el potencial de frenado es igual a la energía de umbral menos la función trabajo.

S<sub>4</sub>: El potencial de frenado es cero a una longitud de onda de umbral.

**Diseño**



## **Instrumentación**

$$eV_s = hf_0 - f = \frac{hc}{\lambda_0} - f$$

$$0 = \frac{hc}{\lambda_0} - f$$

$$f = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{f} = \frac{12.4 \times 10^3 \text{ eV}\text{\AA}}{4.07 \text{ eV}} = \underline{\underline{3046 \text{ \AA}}}$$

## **Revisión**

R<sub>T</sub>: La etapa de traducción se puede ir reduciendo al no mencionar valores de constantes conocidas dependiendo del manejo de cada una de ellas. Si se considerara otro material, el valor de la función trabajo cambiaría.

R<sub>A</sub>: En esta etapa las suposiciones se centran en el concepto de energía de umbral y el balance de energía en el efecto fotoeléctrico.

R<sub>D</sub>: En el diseño se estableció la expresión del balance de energía y el concepto de energía de umbral para llegar a la expresión de la función trabajo y con esto obtener la expresión de longitud de onda de umbral.

R<sub>i</sub>: En la instrumentación se siguió lo establecido en el diseño, considerando el balance de energía se encontró la relación de la función trabajo con la longitud de onda de umbral, lo cual permitió establecer el valor pedido de ésta. Por otro lado, si se considera otro material el valor obtenido para la longitud de onda sería distinto.

### 5.3 PROBLEMAS REFERIDOS AL MODELO DE BOHR

En esta parte se presenta una situación ABP y posteriormente se desarrollan cinco problemas resueltos con el método TADIR, tratando que se apliquen los conceptos del tema de Modelo Atómico de Bohr, dichos conceptos son: energía de estado base, energía de ionización y series de Lyman, Balmer y Paschen.

#### 5.3.1. SITUACIÓN ABP APLICADA EN ESTE TEMA.

MATERIAL PARA EL TUTOR.

#### LA TAREA DE NORMA

Norma tiene una tarea de introducción a Física Moderna, por lo cual leyó una revista de divulgación científica antigua, donde estaba un artículo sobre postulados de Bohr, y lo que le pareció más interesante a Norma de ese artículo, fue un párrafo que decía “un átomo sólo emitirá radiación cuando el electrón cambia a otra órbita permitida con una energía menor a la que tenía en la orbita anterior, asimismo, la energía del fotón emitido será igual a la diferencia de las energías del electrón en las dos órbitas y la longitud de onda de ese fotón puede ser determinada”, ella meditó acerca de ese párrafo, pero no pudo entenderlo. **Pistas / hechos /datos**

#### **orientadores:**

- Un átomo sólo emitirá radiación cuando el electrón cambia a otra órbita.
- Con una energía de emisión menor a la que tenía en la orbita anterior.
- La energía del fotón emitido será igual a la diferencia de las energías del electrón en las dos órbitas.
- La Longitud de onda del fotón emitido puede ser determinada.

#### **Problema (s)**

- ¿Cuáles son los postulados de Bohr?
- ¿Cuál es la condición para que un átomo emita radiación?
- ¿Cómo debe ser la energía de emisión de un fotón?
- ¿Qué es un fotón?
- ¿Cómo se determina la longitud de onda del fotón emitido?

#### **Hipótesis y / o explicaciones:**

- Los postulados de Bohr son:
  1. El electrón gira alrededor del núcleo en órbitas circulares sin emitir energía radiante.
  2. Sólo son posibles aquellas órbitas en las que el electrón tiene un momento angular que es múltiplo entero de  $h/(2\pi)$ .
  3. La energía liberada al caer el electrón desde una órbita a otra de menor energía se emite en forma de fotón, cuya frecuencia viene dada por la ecuación de Planck:  $E_a - E_b = h\nu$ .
- La condición para que un átomo emita radiación es que el electrón salte a una órbita permitida.
- La energía del fotón emitido será igual a la diferencia de las energías del electrón en las dos órbitas.
- El fotón es una partícula que no tiene carga, su masa en reposo es nula y se mueve continuamente a la velocidad de la luz.
- A cada fotón le corresponde una determinada energía, que es función de la frecuencia de la radiación en la que se integra, esto es, a mayor frecuencia mayor energía.
- La longitud de onda se determina de la relación con ella y la diferencia de las energías de las dos órbitas en las que estuvo y está el electrón.
 
$$E_g = (E_u - E_l) = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$
 Entonces  $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc} (E_u - E_l)$ , es el inverso de la longitud de onda.

**Áreas y / o temas a investigar:**

- Modelo Atómico de Bohr.
- Postulados de Bohr.
- Niveles de Energía.
- Espectro del Hidrógeno.

**Fuentes de Información y consulta:**

- Barojas W., Jorge. (1988). *Física Moderna 1*. México: Editorial Limusa.
- <http://inicia.es/de/atomos/#enlace1>

5.3.2. PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA

Para resolver los problemas referidos al tema de Modelo de Bohr, se requiere que los alumnos apliquen conceptos de: energía del estado base, energía de enlace, energía de ionización, longitud de onda más corta, longitud de onda más larga en las distintas series (Balmer, Lyman, Paschen) para el átomo de Hidrógeno.

A continuación se presentan estos problemas resueltos con el método TADIR.

1. Determinar el valor de la longitud de onda más corta de la serie de Lyman ( $n_l = 1$ ) y de Balmer ( $n_l = 2$ ) del Hidrógeno.

### **Solución**

#### ***Traducción***

La longitud de onda más corta de cada serie se produce cuando el estado de energía inicial es máximo. Para continuar se establecen las variables que se relacionan con esta longitud de onda.

$n_l$ : Estado de energía final, los estados  $n_l$  que se pueden tomar en la serie de Lyman para el Hidrógeno son  $n_l = 1, 2, 3, \dots, \infty$ ; y en la serie de Balmer del Hidrógeno son  $n_l = 2, 3, 4, \dots, \infty$ .

$n_u$ : Estado de energía inicial,  $n_u = 2, 3, \dots, \infty$ ; para la serie de Lyman del Hidrógeno y para la de Balmer  $n_u = 3, 4, \dots, \infty$ .

$R_\infty$ : Constante de Rydberg,  $R_\infty = \frac{2p^2 k^2 e^4 m}{h^3 c} = 1.097 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$ .

$I_{\min}$ : Longitud de onda mínima.

Z: Número atómico,  $Z = 1$  para el Hidrógeno.

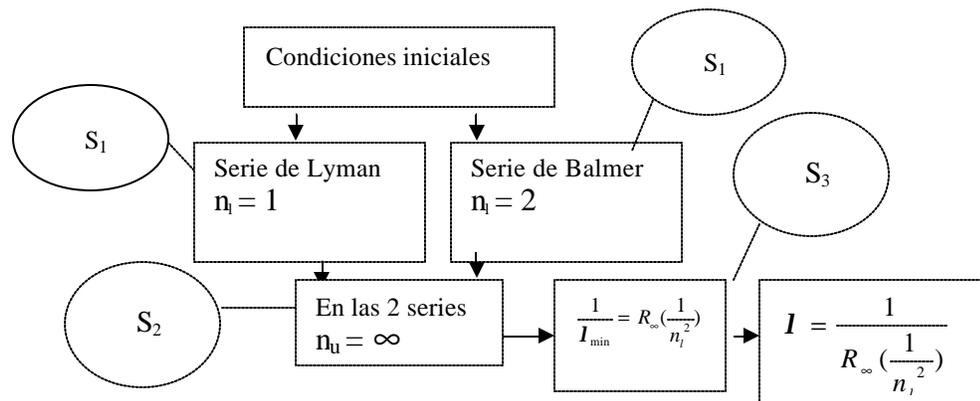
#### ***Análisis***

$S_1$ : En la serie de Lyman  $n_l = 1$  y en la de Balmer  $n_l = 2$ .

S<sub>2</sub>: La longitud de onda mínima existe cuando  $n_u = \infty$ , para ambas series y  $Z = 1$  para el átomo de Hidrógeno.

S<sub>3</sub>: El inverso de la longitud de onda se relaciona con los inversos de los cuadrados de los estados  $n_l$  y  $n_u$ .

### Diseño



### Instrumentación

Longitud de onda para la serie de Lyman corresponde a  $n_l = 1$  y la longitud de onda más corta corresponde a  $n_u = \infty$

$$\frac{1}{I_{\min}} = R_{\infty} Z \left( \frac{1}{n_l^2} - \frac{1}{n_u^2} \right)$$

$$\frac{1}{I_{\min}} = 1.097 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) = 1.097 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$$

$$I_{\min} = 911.57 \text{ \AA}$$

Longitud de onda para la serie de Balmer corresponde a  $n_l = 2$  y la longitud de onda más corta corresponde a  $n_u = \infty$

$$\frac{1}{I_{\min}} = 1.097 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) = 1.097 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1} \left( \frac{1}{4} \right) = 2.74 \times 10^{-4} \text{ \AA}^{-1}$$

$$\underline{\underline{I_{\min} = 3646.31 \text{ \AA}}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: Las variables y constantes establecidas en la traducción fueron debidamente definidas, esto permitió tener los datos suficientes para establecer las relaciones y suposiciones necesarias para encontrar la solución a este problema.

R<sub>A</sub>: Solamente se requirió hacer tres suposiciones basadas en las series del espectro del átomo de Hidrógeno, las cuales fueron las necesarias para dar un soporte al diseño.

R<sub>D</sub>: El diseño fue muy corto porque sólo requirió considerar la relación entre la longitud de onda y los diferentes estados de las distintas series.

R<sub>i</sub>: En esta etapa se pudo determinar los valores de la longitud de onda más corta en ambas series, notando que la longitud de onda más corta en la serie de Balmer es mayor que la que se obtiene en la serie de Lyman.

2. De acuerdo al modelo de Bohr, determina las revoluciones que dará un electrón en el primer estado excitado del Hidrógeno, si el tiempo de vida es  $10^{-8}$  segundos.

### **Solución**

#### **Traducción**

En el modelo de Bohr, la velocidad de un cierto estado depende de la velocidad del estado base, por consiguiente la velocidad angular también depende de éste. Las variables que se relacionan con el número de revoluciones son las siguientes:

N: Número de revoluciones.

c: Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

$w_2$ : Velocidad angular en el primer estado excitado.

$r_1^0$ : Radio del estado base,  $r_1^0 = h^2 / 4\pi^2 m k e^2 = 0.529 \text{ \AA}$ .

$r_n$ : Radio del estado n.  $r_n = n^2 r_1^0 / Z$ , donde  $n$  es el número de estado.

$r_2$ : Radio del primer estado excitado,  $r_2 = 4r_1^0$ .

$v_1^0$ : Velocidad en el estado base,  $v_1^0 = 2\pi k e^2 / h = c/137$ .

$v_2$ : Velocidad en el primer estado excitado del Hidrógeno.

t: Tiempo de vida,  $t = 10^{-8}$  s.

#### **Análisis**

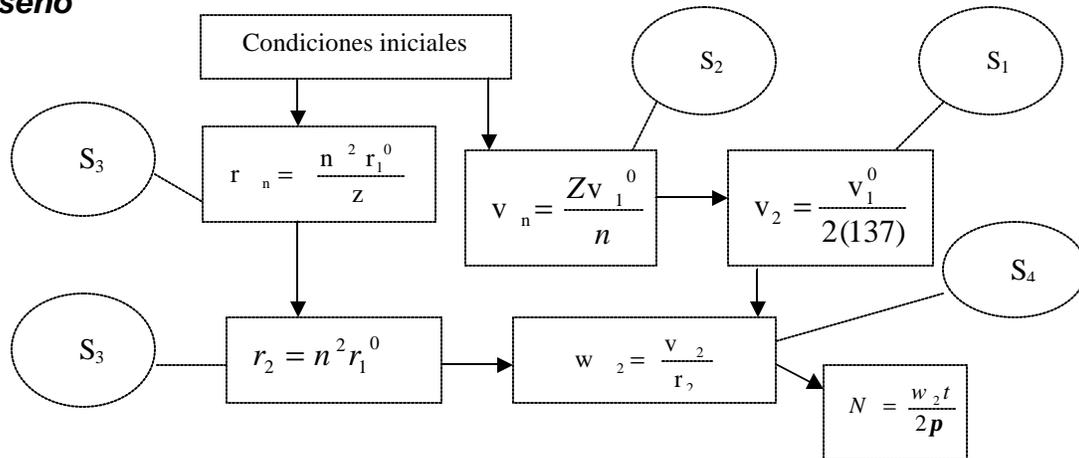
S<sub>1</sub>: En un átomo de Hidrógeno, la velocidad del estado base es un ciento treinta y siete de la velocidad de la luz.

S<sub>2</sub>: En un átomo de Hidrógeno, la velocidad en cualquier estado n diferente del estado base es la velocidad del estado base entre el número de estado.

S<sub>3</sub>: En un átomo de Hidrógeno, el radio de cualquier estado diferente al estado base es el producto del número de estado al cuadrado por el radio del estado base.

S<sub>4</sub>: La velocidad angular es la relación entre la velocidad y el radio.

## Diseño



## Instrumentación

$$r_n = \frac{n^2 r_1^0}{z}$$

$$r_2 = n^2 r_1^0 = 2^2 (0.529) \text{ \AA} = 4(0.529) \text{ \AA} = 2.12 \text{ \AA} .$$

$$v_n = \frac{Z v_1^0}{n}$$

$$v_2 = \frac{v_1^0}{2} = \frac{c}{2(137)} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{274} = 1.1 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$w_2 = \frac{v_2}{r_2} = \frac{1.1 \times 10^6 \text{ m/s}}{2.12 \text{ \AA}} = 0.52 \times 10^{16} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$N = \frac{w_2 t}{2p} = \frac{(0.52 \times 10^{16} \text{ rad/s})(10^{-8})}{6.28 \text{ rad/rev}} = 8.3 \times 10^6 \text{ rev}$$

$$N = 8.3 \times 10^6 \text{ rev} .$$

## Revisión

R<sub>T</sub>: Las variables y las constantes establecidas ayudaron a establecer las suposiciones y las relaciones necesarias entre la velocidad, el radio, la velocidad angular y el tiempo para obtener la solución a este problema. Si el tiempo de vida fuera mayor se obtendría otra solución para este problema.

R<sub>A</sub>: Las hipótesis establecidas se basaron en los conceptos de velocidad del estado base y la velocidad del primer estado excitado, así como el concepto de radio del estado base y radio del estado excitado para fundamentar adecuadamente los pasos del diseño.

R<sub>D</sub>: El diseño estableció las expresiones para obtener las distintas velocidades y el radio, lo cual permitió obtener la solución rápidamente.

R<sub>i</sub>: La instrumentación se apegó al diseño, por lo cual se llegó a una solución consistente. Por otro lado, si se variara el tiempo de vida en este estado, se obtendría que cuando es mayor éste, el número de revoluciones es mayor y si es menor el tiempo de vida, el número de revoluciones es menor. Esto indica que hay una relación directa entre el número de revoluciones del electrón y el tiempo de vida en el estado indicado.

3. ¿Cuál es la longitud de onda del fotón que se emite cuando un átomo de Hidrógeno experimenta una transición de  $n_u = 4$  a  $n_l = 2$ ?

### **Solución**

#### ***Traducción***

La longitud de onda del fotón emitido está relacionada con la energía de este fotón en la transición. A continuación se establecen las variables necesarias para determinar la solución.

$\lambda$  : Longitud de onda.

$n_l$  : Estado de energía final,  $n_l = 2$ .

$n_u$  : Estado de energía inicial,  $n_u = 4$ .

$E_1^0$  : Energía de ionización para el Hidrógeno.  $E_1^0 = 2p^2k^2e^4m/h^2 = 13.6eV$ .

$E_n$  : Energía en el estado  $n$ .

$E_2$  : Energía en el estado  $n_l = 2$ .

$E_4$  : Energía en el estado  $n_u = 4$ .

$E_g$  : Energía del fotón emitido.

Z: Número atómico,  $Z = 1$  para el Hidrógeno.

h: Constante de Planck,  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ .

c: Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

hc: Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{Å}$ .

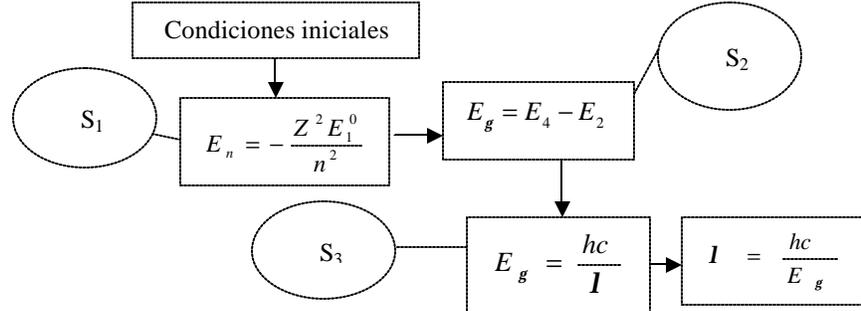
#### ***Análisis***

S<sub>1</sub>: La energía de los diferentes estados se puede determinar con la energía del estado de ionización, número atómico y el número de estado al cuadrado.

S<sub>2</sub>: La energía emitida por el fotón en la transición es la diferencia de energías de los estados inicial y final.

S<sub>3</sub>: La longitud de onda está relacionada con  $E_g$  y hc.

## Diseño



## Instrumentación

$$E_n = -\frac{Z^2 E_1^0}{n^2}$$

$$E_2 = \frac{-13.6eV}{2^2} = -3.4eV, \quad E_4 = \frac{-13.6eV}{4^2} = -0.85 eV$$

$$E_g = E_4 - E_2 = -0.85eV - (-3.4eV) = 2.55eV, \quad E_g = \frac{hc}{\lambda} = 2.55 eV$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{12.4 \times 10^3 eV \cdot \text{\AA}}{2.55 eV}, \quad \underline{\underline{\lambda = 4862.7 \text{\AA}}}$$

## Revisión

R<sub>T</sub>: La traducción sólo requiere de establecer los niveles  $n_u$ ,  $n_l$  y el número atómico Z para poder determinar las energías.

R<sub>A</sub>: En el análisis se podrían establecer suposiciones que relacionaran los niveles con la longitud de onda, para obtener una solución más corta.

R<sub>D</sub>: El diseño pudo ser más corto, considerando únicamente el inverso de la longitud de onda.

R<sub>i</sub>: La instrumentación siguió los pasos marcados en el diseño, pero se pudo haber calculado de otra forma la longitud de onda, considerando la relación del inverso de la longitud de onda que se relaciona con los niveles de energía, obteniéndose el mismo valor de la longitud de onda.

4. ¿Cuál es el valor de la energía de ionización de Hidrógeno, si la longitud de onda más corta en la serie de Balmer es de 3646.3 Å?

**Solución**

**Traducción**

La energía de ionización es la mínima energía para ionizar el átomo. A continuación se establecen las variables que tienen relación con ésta.

Z: Número atómico,  $Z = 1$  para el Hidrógeno.

$E_n$ : Energía en el estado  $n$ .

$E_l$ : Energía en el estado  $n_l = 2$  para la serie de Balmer.

$E_u$ : Energía en el estado  $n_u = \infty$ , para la onda más corta en la serie de Balmer.

$E_1^0$ : Energía de ionización.

$I$ : Longitud de onda más corta,  $I = 3646.3 \text{ \AA}$ .

hc: Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3 \text{ eV} \cdot \text{\AA}$ .

**Análisis**

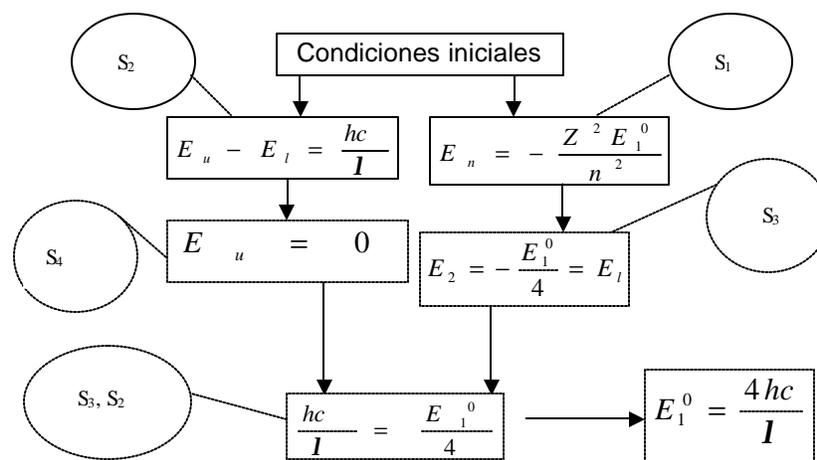
S<sub>1</sub>: La energía de cualquier estado en el átomo de Hidrógeno es la relación de la energía del estado de ionización entre el número del estado al cuadrado.

S<sub>2</sub>: La diferencia de energías se relaciona con el producto de hc y el inverso de  $I$ .

S<sub>3</sub>: La energía del estado  $n_l = 2$ , tiene relación con la energía de ionización.

S<sub>4</sub>: Para la longitud de onda más corta  $n_u = \infty$  y por lo tanto la  $E_u = 0$ .

**Diseño**



### **Instrumentación**

$$E_n = -\frac{Z^2 E_1^0}{n^2}, \quad E_2 = -\frac{E_1^0}{4} = E_1$$

$$E_u - E_l = \frac{hc}{\lambda}, \quad E_u = 0, \quad E_u - E_l = 0 - \left(-\frac{E_1^0}{4}\right) = \frac{hc}{\lambda},$$

$$-E_l = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{E_1^0}{4}, \quad E_1^0 = \frac{4hc}{\lambda} = \frac{4(12.4 \times 10^3 \text{ eV} \cdot \text{Å})}{3646.3 \text{ Å}} = \underline{\underline{13.6 \text{ eV}}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: Las variables y las constantes establecidas en esta etapa permitieron establecer las suposiciones necesarias para obtener la expresión de la energía de ionización buscada en este problema. Si se considerara la serie de Lyman en lugar de la de Balmer, se obtendría el mismo resultado para la energía.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones se basaron en los conceptos de energía de ionización, estado inicial y el concepto de longitud de onda más corta, esto permitió fundamentar adecuadamente los pasos del diseño.

R<sub>D</sub>: El diseño marco las relaciones de las distintas energías, estableciéndose adecuadamente el balance de energía, lo cual permitió obtener la expresión para la energía de ionización.

R<sub>I</sub>: La instrumentación se basó en los pasos del diseño, permitiendo con esto establecer la energía de ionización del Hidrógeno para la longitud de onda más corta en la serie de Balmer. Por otro lado, si se cambiara la serie por la de Lyman, la cual tiene una longitud de onda más pequeña (la cuarta parte de la de Balmer) y una energía en el primer estado más grande (cuatro veces mayor que la de Balmer), se obtendría que la energía de ionización sería de igual magnitud que la calculada con la serie de Balmer.

5. ¿Cuál es la energía del estado inicial en su transición al estado de excitación de 10.2 eV, en el Hidrógeno cuando emite un fotón con longitud de onda de 4900 Å?

**Solución**

**Traducción**

La energía del estado inicial, se relaciona con las siguientes variables:

Z: Número atómico,  $Z = 1$  para el Hidrógeno.

$E_1$ : Energía del estado base,  $E_1 = -E_1^0 = -13.6 eV$ .

$E_g$ : Energía del fotón emitido.

$E_n$ : Energía en el estado n.

$E_u$ : Energía en el estado inicial u.

$E_x$ : Energía del estado de excitación,  $E_x = 10.2 eV$ .

$I$ : Longitud de onda del fotón  $I = 4900 \text{ \AA}$ .

f: Frecuencia.

hc: Producto de constante de Planck por velocidad de la luz,  $hc = 12.4 \times 10^3 eV \cdot \text{\AA}$ .

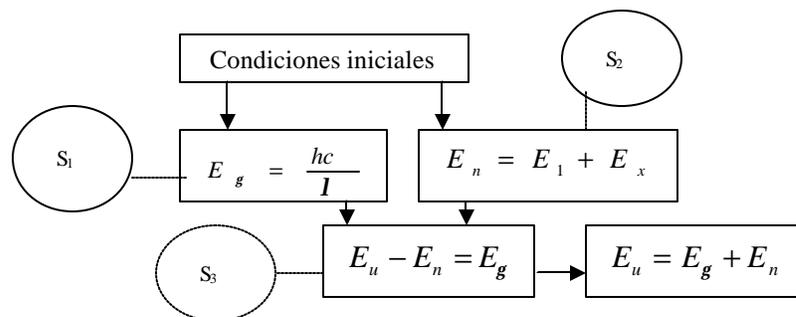
**Análisis**

S<sub>1</sub>: La energía del fotón emitido se relaciona con la velocidad de la luz y  $I$ .

S<sub>2</sub>: La energía del estado n se relaciona con la suma de las energías del estado base y el estado de excitación.

S<sub>3</sub>: La diferencia de energía del estado inicial menos la energía del estado n se relaciona con la energía del fotón emitido.

**Diseño**



### **Instrumentación**

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12.4 \times 10^3 \text{ eV}\text{\AA}}{4.9 \times 10^3 \text{ \AA}} = 2.53 \text{ eV}$$

$$E_n = E_1 + E_x = -13.6 \text{ eV} + 10.2 \text{ eV} = -3.4 \text{ eV}$$

$$E_u - (-3.4 \text{ eV}) = 2.53 \text{ eV}$$

$$E_u = E_g + E_n = 2.53 \text{ eV} + (-3.4 \text{ eV}), \quad \underline{\underline{E_u = -0.87 \text{ eV}}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: Las variables y las constantes establecidas en la traducción fueron de gran utilidad en el establecimiento de las suposiciones y las expresiones para llegar a la solución del problema. Sin embargo, debió haberse omitido el establecimiento de alguna constante que ya hubiera sido manejada anteriormente.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones planteadas fueron basadas en la obtención de la energía del fotón emitido y en el balance de energía, éstas sirvieron para fundamentar adecuadamente el diseño.

R<sub>D</sub>: El diseño estableció las expresiones de la energía y su balance, para llegar a la expresión que permitió obtener la energía de enlace del estado inicial.

R<sub>i</sub>: En la instrumentación se siguieron los pasos del diseño, para obtener el valor de cada una de las energías requeridas, dichos valores permitieron determinar el valor de la energía de enlace del estado inicial.

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS EN EL AULA

En este capítulo se presenta primero una descripción general de las actividades realizadas en las Prácticas Docentes I, II y III y después se presentan los resultados obtenidos de manera más bien cualitativa al aplicar el método de solución de problemas TADIR y las situaciones ABP durante estas prácticas, haciendo un análisis de éstos y su implicación como estrategias docentes.

#### 6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES I, II Y III

Al realizar las tres prácticas docentes en el CCH-Sur, CCH-Azcapotzalco y la ENP Plantel 6, con grupos de Física I y II, en el CCH y con un grupo de Física IV en la ENP, sólo en dos de ellas (Prácticas Docentes II y III) se aplicaron los problemas y los dos métodos de solución propuestos en esta tesis.

Debido a que en la Práctica<sup>31</sup> Docente I se quería detectar las fortalezas y las debilidades que manifestáramos al impartir las clases frente a grupo, sólo se nos permitió impartir durante dos semanas la clase y con la condición de seguir el programa marcado, sin interrumpir la continuidad de los temas que el profesor titular estaba impartiendo en esos momentos. Siendo el tema de exposición<sup>32</sup> “La 2ª Ley de Newton”, el cual nada tiene que ver con Física Moderna, por ser un tema de Mecánica Clásica. Por lo cual, tuvimos que adaptarnos a las condiciones que el profesor supervisor nos indicó, es decir, en esta primera práctica docente no se pudieron aplicar los problemas y situaciones de aprendizaje de los temas de Física Moderna.

---

<sup>31</sup> Para esta práctica se asignó el grupo 303-B de Física I en el CCH-Sur, el cual constó de 25 alumnos.

<sup>32</sup> Aunque se asignó un tema, se tuvieron que exponer dos temas que le faltaron al profesor supervisor que fueron: el Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU) y Movimiento Uniformemente Acelerado (MUA).

No obstante, estas limitaciones, se organizó al grupo en equipos, lo cual permitió que los alumnos hicieran un trabajo colaborativo, en el desarrollo de las actividades propuestas, durante las 4 sesiones de esta práctica docente.

Por otro lado, para las Prácticas Docentes II y III se probaron los problemas resueltos con el TADIR y las situaciones de ABP, aplicándose a los alumnos el examen diagnóstico, en el inicio de la primera sesión y un cuestionario en las 3 primera sesiones y en las 3 últimas, para detectar el grado de utilización de los métodos de solución aplicados.

Para la Práctica Docente II, se asignó un grupo<sup>33</sup> de Física II del CCH, durante 6 sesiones de dos horas, los problemas aplicados fueron de los temas de Efecto Fotoeléctrico y Modelo de Bohr

En la Práctica Docente III se probaron los problemas relativos a los temas de Radiación del Cuerpo Negro y Efecto Fotoeléctrico, dos situaciones ABP para el primer tema y una para el segundo tema, en un grupo<sup>34</sup> de Física IV de la ENP, durante 9 sesiones de dos horas.

Es preciso mencionar, que aunque se diseñaron los problemas referidos a Relatividad Especial, no pudieron ser probados en el aula, debido a la falta de tiempo. Quizá, esto no hubiera sucedido, si en la primera práctica docente se nos hubiera permitido aplicar lo que estábamos trabajando en la tesis.

Los resultados obtenidos en la aplicación de las situaciones ABP y los problemas resueltos con el método TADIR, para el desarrollo de los temas de Física Moderna, se presentan y analizan para cada una de las prácticas docentes en las siguientes secciones.

---

<sup>33</sup> El grupo fue el 424-B, con 24 alumnos.

<sup>34</sup> El grupo asignado fue el 603-I, en el cual asistieron regularmente 26 alumnos.

## 6.2 RESULTADOS OBTENIDOS

No obstante, que los alumnos asignados en la Práctica Docente I, a lo largo de las 3 primeras clases resolvieron problemas con su método habitual, se les indujo a que en la resolución, hicieron una especie de análisis no formal, estableciendo algunas veces un diagrama, relacionando las variables e identificando el modelo que describe el fenómeno tratado en éste. Debido a que no se aplicó el ABP y TADIR en esta práctica, sólo se presenta la lista de calificaciones en el apéndice<sup>35</sup>.

En las Prácticas Docentes II y III, se obtuvieron varios resultados, como son el incremento en la aprobación<sup>36</sup> al aplicar estos métodos de solución. En la siguiente tabla se muestran dichos resultados.

Tabla 2. Número de alumnos que respondieron correctamente de cero a 5 preguntas en el examen diagnóstico<sup>37</sup> y final de las Prácticas Docentes II y III.

Práctica Docente	Total de alumnos del grupo	Examen diagnóstico					Examen final					% de aprobación <sup>38</sup> del examen diagnóstico	% de aprobación del grupo al final.		
		Número de alumnos con aciertos de 0 a 5					Número de alumnos con aciertos de 0 a 5								
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3			4	5
II	24	1	7	9	3	2	0	-	2	6	7	6	1	4.16	80
III	26	5	-	12	7	--	-	-	6	11	2	4	2	0	27

Los datos presentados en esta tabla fueron obtenidos de la revisión de los exámenes<sup>39</sup>. Como se puede notar en la tabla 2, el grupo que obtuvo más aciertos fue el del CCH, manifestando algún manejo de conocimientos previos de los temas

<sup>35</sup> Esta lista puede servir para establecer una comparación del rendimiento de los alumnos, en esta práctica docente con las otras, en las cuales sí se aplicó el ABP y el TADIR.

<sup>36</sup> Esto se pudo establecer con la aplicación del examen diagnóstico y el examen final.

<sup>37</sup> Se tuvo en cuenta sólo 5 reactivos de los exámenes, para hacer la comparación. Porque en el examen diagnóstico, el máximo de preguntas de concepto que contestaron acertadamente fue 4 y el examen final se constituyó de 5 preguntas de concepto.

<sup>38</sup> Los porcentajes de aprobación de cada grupo, fueron calculados a partir de las listas de calificaciones contenidas en el apéndice D.

<sup>39</sup> La aplicación de éstos fue con la intención de verificar cuáles eran sus conocimientos previos de los alumnos y para determinar el avance de los grupos al aplicar el ABP y el TADIR.

de Física Moderna. Además, se nota en esta tabla que hubo incremento en la aprobación, comparando el inicio y el final, en ambos grupos.

Las respuestas al cuestionario de 16 preguntas, que se aplicó al final de las tres primeras sesiones y de las tres últimas, en las Prácticas Docentes II y III, nos expresa la percepción de los alumnos sobre las habilidades adquiridas al manejar los métodos ABP y TADIR. A continuación se presenta esto condensado en una tabla, estableciendo porcentajes de las respuestas afirmativas y negativas.

Tabla 3. Muestra el porcentaje de alumnos que manifestó si o no logró lo que se indica en las preguntas del cuestionario, durante la Práctica Docente II.

HABILIDADES	Primeras 3 sesiones		Preguntas	3 sesiones Finales	
	Si	No		Si	No
COMUNICACIÓN	57.9%	42.1%	1. ¿Durante la sesión utilizó un lenguaje claro para la expresión de sus ideas?	80%	20%
	85%	15%	2. ¿La exposición de sus ideas las realizó de forma concisa?	86.8%	13.2%
	73.6%	26.4%	3. ¿Sus ideas planteadas fueron entendidas por el resto del grupo?	86.8%	13.2%
TRABAJO EN EQUIPO	100%	0%	4. ¿Durante la sesión mantuvo una actitud de colaboración con el resto de sus compañeros?	100%	0%
	68.6%	31.4%	5. ¿Las ideas del alumno fueron parte de consenso final de la sesión?	100%	0%
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	79%	21%	6. ¿Identificó las pistas o hechos relevantes que le permitieron iniciar la construcción o identificación del problema y el establecimiento de la traducción del problema?	86.8%	13.3%
	94.8%	5.2%	7. ¿Participó en el diseño de la solución de problemas?	93.4%	6.6%
	84%	16%	8. ¿Los problemas planteados en la sesión fueron contruidos a partir de las pistas o hechos identificados?	100%	0%
	90%	10%	9. ¿Participó en la formulación de hipótesis que deran respuesta a los problemas planteados?	100%	0%
	52.7%	47.3%	10. ¿Sus hipótesis o suposiciones formuladas daban respuesta a los problemas planteados?	100%	0%
	74%	26%	11. ¿Participó en la elaboración de las suposiciones?	100%	0%
APRENDIZAJE INDEPENDIENTE EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	73.6%	26.4%	12. ¿Sus suposiciones propuestas permitieron fundamentar el diseño de las soluciones planteadas?	93.4%	6.6%
	68.4%	31.6%	13. ¿La etapa de revisión permitió que la información recabada fuera congruente con la solución de los problemas propuestos?	100%	0%
	78%	22%	14. ¿Los recursos de investigación y recolección de la información fueron los adecuados para cumplir con los objetivos de aprendizaje?	93.4%	6.6%
	68.4%	31.6%	15. ¿Presentó la información recabada para la solución de un problema en forma clara y concisa?	100%	0%
	46.5%	53.5%	16. ¿Planteó la aplicación del conocimiento adquirido para la solución de otros problemas?	66.6%	33.3%

La tabla 4 y la anterior nos brindan la oportunidad de detectar que manejo lograron los alumnos de los métodos al resolver los problemas en las tres primeras y las tres últimas sesiones de cada una de las dos prácticas docentes.

Tabla<sup>40</sup> 4. Muestra el porcentaje de alumnos que manifestó que si o no logró lo que se indica en las preguntas, durante la Práctica Docente III.

HABILIDADES	Primeras 3 sesiones		Preguntas	Últimas 3 sesiones	
	Si	No		Si	No
COMUNICACIÓN	40%	60%	1. ¿Durante la sesión utilizó un lenguaje claro para la expresión de sus ideas?	45%	55%
	30%	70%	2. ¿La exposición de sus ideas las realizó de forma concisa?	60%	40%
	50%	50%	3. ¿Sus ideas planteadas fueron entendidas por el resto del grupo?	70%	30%
TRABAJO EN EQUIPO	60%	40%	4. ¿Durante la sesión mantuvo una actitud de colaboración con el resto de sus compañeros?	65%	35%
	60%	40 %	5. ¿Las ideas del alumno fueron parte de consenso final de la sesión?	70%	30%
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	70%	20%	6. ¿Identificó las pistas o hechos relevantes que le permitieron iniciar la construcción o identificación del problema y el establecimiento de la traducción del problema?	80%	15%
	67%	33%	7. ¿Participó en el diseño de la solución de problemas?	88%	12%
	60%	40%	8. ¿Los problemas planteados en la sesión fueron contruidos a partir de las pistas o hechos identificados?	70%	30%
	60%	40%	9. ¿Participó en la formulación de hipótesis que dieran respuesta a los problemas planteados?	77%	23%
	57%	43%	10. ¿Sus hipótesis o suposiciones formuladas daban respuesta a los problemas planteados?	60%	40%
	60%	40%	11. ¿Participó en la elaboración de las suposiciones?	74%	26%
	77%	23%	12. ¿Sus suposiciones propuestas permitieron fundamentar el diseño de las soluciones planteadas?	90%	10%
APRENDIZAJE INDEPENDIENTE EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	68%	42%	13. ¿La etapa de revisión permitió que la información recabada fuera congruente con la solución de los problemas propuestos?	70%	30%
	70%	30%	14. ¿Los recursos de investigación y recolección de la información fueron los adecuados para cumplir con los objetivos de aprendizaje?	78%	22%
	68%	42%	15. ¿Presentó la información recabada para la solución de un problema en forma clara y concisa?	75%	25%
	45%	55%	16. ¿Planteó la aplicación del conocimiento adquirido para la solución de otros problemas?	60%	40%

Ahora, pasemos a establecer los resultados de forma general, considerando primero cómo manejaron los alumnos las etapas del ABP y las del TADIR, en las

<sup>40</sup> Las tablas 3 y 4 permiten establecer si les fueron útiles, a los alumnos, los métodos de solución aplicados.

Prácticas Docentes II y III. Con este fin se desglosa en una tabla el porcentaje de alumnos que manejaron las etapas del ABP en la solución de una situación, durante las distintas prácticas docentes, dicha tabla se presenta a continuación.

Tabla 5. Porcentaje<sup>41</sup> de alumnos del grupo que manejó en cierto grado las distintas etapas del ABP, durante las Prácticas Docentes II y III.

Etapas del ABP	PRÁCTICA DOCENTE II (Total de alumnos 24) % de alumnos que establecen			PRÁCTICA DOCENTE III (Total de alumnos 25) % de alumnos que establecen		
	Acertadas(os)	Algo acertadas(os)	Nada acertadas(os)	Acertadas(os)	Algo Acertadas (os)	Nada acertadas (os)
Pistas	87.5	12.5	0	76	24	0
Problemas	91.6	8.3	0	84	16	0
Hipótesis	29.1	62.6	8.3	28	56	16
Áreas o temas	66.7	33.3	0	52	48	0
Fuentes de información	91.7	8.3	0	92	8	0

Los resultados obtenidos de la aplicación del TADIR, en sus diferentes etapas, a la solución de problemas, en las prácticas docentes, se presenta a continuación, en la siguiente tabla.

Tabla 6. Porcentaje<sup>42</sup> de alumnos del grupo que manejó las etapas del TADIR.

Etapas del TADIR	Práctica Docente II (Grupo de 24 alumnos) % del grupo	Práctica Docente III (Grupo de 25 alumnos) % del grupo
Traducción	91.7	92
Análisis	62.6	68
Diseño	45.6	40
Instrumentación	70.8	92
Revisión	33.3	32
Llegan a la solución correcta.	66.7	60

Otro resultado obtenido al aplicar el TADIR fue que se pudo determinar en que porcentaje dejaron de usar su método habitual en la solución de problemas esto se presenta en la siguiente tabla:

<sup>41</sup> Estos porcentajes fueron obtenidos a partir del número de alumnos que resolvieron una situación de Física aplicando el ABP en sus distintas etapas, durante las prácticas docentes.

<sup>42</sup> Estos porcentajes fueron obtenidos a partir del número de alumnos que utilizaron el TADIR en sus diferentes etapas para resolver un problema de Física Moderna, como los ejemplificados en el Apéndice B.

Tabla 7. Porcentaje<sup>43</sup> de alumnos que usaron el método habitual y el TADIR para obtención de la solución de los problemas en Física Moderna.

Método Seguido En La Solución De Problemas.	Práctica Docente II		Práctica Docente III	
	% de alumnos al inicio	% de alumnos al final	% de alumnos al inicio	% de alumnos al final
Habitual	100	4.1	100	8
TADIR	0	95.9	0	92
Habitual obteniendo la solución correcta	16	4	20	8
TADIR obteniendo la solución correcta.	0	66.7	0	60

Esta tabla permite establecer el grado de aceptación del TADIR, por parte de los alumnos, y la utilidad que le dieron a este método para resolver los problemas.

### 6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Práctica Docente I, se observó que los alumnos sólo resolvían los problemas de manera típica, es decir, siguiendo el esquema de: datos, fórmula, sustitución, operaciones y resultado.

También se pudo observar<sup>44</sup>, que al final, cuando resolvieron problemas, dieron más atención en los datos, haciendo hincapié en el establecimiento de los valores de las variables y sus conversiones de unidades. Esto refleja que aprendieron de alguna forma la primera etapa de TRADUCCIÓN del método TADIR, no obstante, que no se les mencionó este método de solución de problemas.

<sup>43</sup> Estos porcentajes se obtuvieron a partir de los problemas calificados en el primero y último examen.

<sup>44</sup> Estas observaciones provienen de la revisión de los problemas que resolvieron los alumnos durante la Práctica Docente I.

La evaluación diagnóstica<sup>45</sup> que se realizó a partir de la segunda práctica docente, constó de un examen de diez reactivos (preguntas abiertas<sup>46</sup>), de los cuales sólo 5 eran de conceptos de los temas de Física Moderna, esta evaluación permitió conocer cuál era el estado inicial<sup>47</sup> de los alumnos en cuanto a sus conocimientos previos sobre los temas expuestos, el cual nos indicó que los alumnos de CCH, manejaron algunos conocimientos previos y los de Preparatoria, probablemente, no conocían del tema. Además, se detectó a través de la comparación de los resultados obtenidos por los alumnos en el examen diagnóstico<sup>48</sup> inicial y el examen aplicado al final<sup>49</sup> que hubo un avance significativo en el desempeño de los alumnos en las dos practicas.

Con referencia a los resultados obtenidos en las tablas 3 y 4, este cuestionario<sup>50</sup>, fue una especie de autoevaluación del alumno, aplicado en la tercera y última sesión para detectar su habilidad en el manejo y su agrado por el ABP y el TADIR. Las preguntas de este cuestionario tuvieron por objeto evaluar las habilidades adquiridas por los estudiantes en cada una de las sesiones, al aplicar situaciones ABP y el método TADIR en la solución de problemas de Física Moderna. Cabe señalar que este cuestionario tuvo el carácter de evaluación formativa, en donde la retroalimentación fue parte fundamental de cada sesión.

En el desarrollo de la clase para la Práctica Docente II, el grupo de cuarto semestre del CCH, que le impartí la clase de Física II, se organizó muy bien en todas las actividades, realizando adecuadamente éstas, logrando aprender cómo resolver situaciones ABP y la forma de resolver problemas con el TADIR. Se puede decir

---

<sup>45</sup> Esta evaluación consistió de un examen de 10 preguntas, uno de los exámenes aplicados a un alumno se muestra al final del apéndice B.

<sup>46</sup> Las respuestas correctas a estas preguntas fueron las que más se apegaron a la definición científica.

<sup>47</sup> La lista de calificaciones de este examen se muestra en el apéndice D.

<sup>48</sup> Un ejemplo de examen diagnóstico se encuentra al final del Apéndice B.

<sup>49</sup> Algunos de estos exámenes se encuentran en el Apéndice B.

<sup>50</sup> Este cuestionario fue integrado en su mayoría de preguntas que fueron tomadas de los cuestionarios de evaluación del curso de ABP y revisadas por el Dr. Jorge R. Barojas Weber.

que en general, este grupo acogió el método TADIR positivamente, para la solución de los problemas que se le plantearon.

Una de las dificultades que se les presentó al desarrollar las etapas del TADIR, es que se les hacía demasiado extensa la redacción de las mismas, consumiendo mucho tiempo para escribir las soluciones. Por lo cual, manifestaron que les parecía un poco extenso el método, pero en general les gusto, porque les permitió ser más organizados en el proceso de solución de los problemas.

En la Práctica Docente III, se pudo apreciar que para los alumnos de preparatoria el ABP fue adecuado en la introducción de los temas y les resultó fácil de manejar, pero el método TADIR les pareció demasiado laborioso y complicado, en especial, ellos sintieron dificultad en la construcción de las hipótesis y del diseño, cuando resolvían los problemas. La mayoría de estos alumnos prefirió construir la solución sólo con la traducción<sup>51</sup> y la instrumentación, esto lo noté a lo largo de las 9 sesiones de la práctica docente.

También se puede decir que la mayoría de los alumnos de esta preparatoria sintieron mucha dificultad para construir su propio conocimiento, a partir del método TADIR y el ABP<sup>52</sup>.

Observando los porcentajes de las tablas 2 y 3, en la Práctica Docente II, se ve que los alumnos de CCH, lograron un avance significativo en sus actividades realizadas al trabajar con estos métodos; asimismo, se nota que de manera natural realizan las actividades y están motivados.

Quizá, estos logros obtenidos en esta práctica docente se deben a que el sistema de enseñanza en el CCH<sup>53</sup>, está de acuerdo con la aplicación de estrategias

---

<sup>51</sup> En la Tabla 6 se puede observar que más del 90% del grupo realizó la traducción de los problemas.

<sup>52</sup> Por ser ambos el TADIR y el ABP, estrategias que no conocían estos alumnos, les resultó difícil efectuar los procesos de solución de los problemas, de forma independiente.

innovadoras, donde el alumno es sujeto de su propio aprendizaje. Además, este grupo utilizó con gran disposición el método TADIR en la solución de problemas, a pesar de sus limitaciones conceptuales, por ser un grupo de cuarto semestre de Bachillerato. En general este grupo tuvo buen rendimiento<sup>54</sup>.

Por otro lado, al analizar los porcentajes de Práctica Docente III, en las tablas 2 y 4 se observa que los alumnos de la ENP, si tuvieron un cambio con respecto al inicio y el final de las clases, al desarrollar las actividades, sin embargo, éste fue poco sustancial.

Seguramente, estos resultados obtenidos con los alumnos de preparatoria, se debieron a que sólo tuvieron pocas clases, donde se aplicaron nuevas estrategias desconocidas para ellos, además de que ellos están habituados a exposiciones tradicionales, lo cual no les permitió estar dispuestos a ser los sujetos de su propio aprendizaje. En este sentido, ellos esperaban que fuera el maestro, quien les hiciera todo, para que fueran únicamente receptores y no participantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Debido a esto, la aplicación de nuevas estrategias de enseñanza representó un cambio radical para ellos, al cual difícilmente pudieron adaptarse, obteniendo como resultado calificaciones bajas<sup>55</sup>.

Es importante mencionar que este grupo de 6º grado, cursaba Física IV y el programa de este curso no contemplaba el tema de Física Moderna.

Pero, esto no fue una limitante para el desarrollo de las clases, porque los temas de Física Moderna sí están contenidos en el programa del curso de Física III, que ellos debieron haber llevado.

No obstante, la oportunidad que tuvieron de repasar los temas de Física Moderna, resultó que una de las causas más importantes, para que ellos no adoptaran su

---

<sup>53</sup> Los principios fundamentales del CCH, son aprender a ser, aprender a aprender y aprender a hacer, esto permite un desarrollo independiente del alumno, el cual esta abierto a la aplicación de estrategias.

<sup>54</sup> Este se puede consultar en las listas del grupo 424-B, en el apéndice D.

<sup>55</sup> Estas se pueden consultar en las listas del grupo 603-I, en el apéndice D.

papel de alumnos interesados en realizar todas las actividades fue que los temas no formaban parte del programa de su curso actual de Física.

Al hacer la comparación entre los resultados obtenidos de las Prácticas Docentes II y III, se puede decir, con base en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 que hubo mayor aceptación de los métodos ABP y TADIR en el grupo de CCH. Sin embargo, tanto en el grupo de CCH como en el de la ENP casi no hicieron la etapa de revisión en la solución de los problemas resueltos con el TADIR. Esto se puede apreciar en los problemas resueltos de los alumnos en ambas prácticas docentes, especialmente en los exámenes y ejercicios contenidos en el apéndice B.

Al considerar todos los resultados obtenidos, durante las Prácticas Docentes II y III, se puede decir que debido a lo reducido del tiempo de aplicación de los métodos y a las condiciones existentes dentro del aula, éstos resultados sólo nos proporcionaron elementos para hacer un análisis un tanto cualitativo, para emitir un juicio acerca de la de aceptación de los alumnos del Método TADIR<sup>56</sup> en la solución de problemas y del ABP en la solución de situaciones de aprendizaje.

Ahora bien, con el propósito de ejemplificar cómo un alumno resuelve un problema, aplicando el método TADIR y cuáles son sus fallas, se presentan a continuación dos problemas que fueron resueltos en clase, del tema de Efecto Fotoeléctrico, haciendo un breve análisis de cómo los alumnos utilizan las distintas etapas del TADIR, para llegar a la solución de estos problemas.

---

<sup>56</sup> Se hace más énfasis en el método TADIR, porque este método resulta muy útil en la estructuración de las ideas, cuando se resuelven los problemas, pudiendo ser utilizado en cualquier momento del curso, aunque parezca más complicado y un tanto laborioso para alumnos de Bachillerato.

1. Una estación de radio funciona con una señal cuya frecuencia es  $104 \text{ MHz}$  y con una potencia de salida de  $110 \text{ Kw}$ . Calcular el número de fotones por segundo emitidos por la Estación.

### TRADUCCIÓN

f: frecuencia  $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$   
 $f: 104 \text{ MHz} \rightarrow (104)(1000000)$   
 $f: 104,000,000. \text{ Hz}$

P: Potencia  $\text{w} = 1 \text{ J/s}$   
 $P: 110 \text{ Kw} \rightarrow (110)(110,000)$   
 $P: 110,000 \text{ w}$

$n_f$ : número de fotones

### ANÁLISIS

- Con la frecuencia de la señal podemos calcular la energía que tiene cada fotón.
- La potencia de la señal se relaciona con la emisión de fotones.

### DISEÑO

$$E = fh \rightarrow P = E/t$$

$$\downarrow$$

$$\frac{1}{t} = \frac{P}{E} \rightarrow \frac{f}{s} = \frac{P}{E} \text{ fotones}$$

### IMPLEMENTACIÓN

$h: 6.63 \times 10^{-34} \text{ J/s}$

$E: (104,000,000 \text{ Hz})(6.63 \times 10^{-34} \text{ J/s}) = 6.8952 \times 10^{-26} \text{ J}$

$$\frac{f}{s} = \frac{P}{E} \quad \frac{f}{s} = \frac{110,000 \text{ w}}{6.8952 \times 10^{-26} \text{ J}} = 1.59 \times 10^{30} \frac{f}{s}$$

Fig. 8. Problema resuelto por un alumno, aplicando el TADIR, durante la clase. En este problema de la estación de radio, resuelto por uno de los alumnos, con el método TADIR, se nota que la parte 1, que constituye la traducción del problema, está muy extractada, además de que le faltan algunos signos de igualdad al

convertir las unidades de frecuencia y de potencia, él no distingue entre definir las variables y el establecer sus valores con unidades adecuadas.

En la parte 2, que constituye el análisis, el alumno hizo pocas suposiciones, pero le fueron suficientes para que las relaciones establecidas en el diseño estuvieran fundamentadas y congruentes.

En la parte 3, que corresponde al diseño, el alumno omitió las condiciones iniciales, estableciendo de entrada la relación de la energía con la frecuencia y la relación de la potencia con la energía y el tiempo, para obtener la relación que le dio el número de fotones emitidos en cada segundo; asimismo, no hizo uso adecuado de las literales para designar el número de fotones, es decir, utilizó indebidamente la literal que designaba la frecuencia para denotar a éste número. Por lo cual, al utilizar la misma literal  $f$  para designar la frecuencia y los fotones, debió tener confusión para obtener los resultados en la instrumentación. Para evitar esto sería preferible que él hubiera elegido diferentes literales para designar a la frecuencia y a los fotones. Además, no utilizó las suposiciones hechas en el análisis para fundamentar las relaciones de las variables establecidas en este diseño.

En la parte 4, que corresponde a la implementación, el alumno hizo las sustituciones omitiendo el paso para obtener las unidades de fotones sobre segundo, aunque obtiene la solución numérica correcta al problema. Cabe señalar que este problema es parecido<sup>57</sup> al problema número uno, del tema de efecto fotoeléctrico, presentado en la sección 5.2.2.

Por último, este alumno no desarrolló la etapa de revisión en la resolución de este problema, esto quizá se debió a que no le alcanzó el tiempo para hacer la reflexión sobre lo que significó resolver este tipo de problema o porque su nivel cognitivo no

---

<sup>57</sup> En este problema sólo cambió en los datos, con el propósito de que cada equipo obtuviera diferentes resultados, esto se hizo durante la práctica docente II y III.

le permitió saltar a la metacognición, aunque haya obtenido la solución numérica correcta a este problema.

Es preciso señalar que, aún con las fallas que presentó este alumno en el desarrollo de las distintas etapas del TADIR, cuando resolvió el problema, se notó que fue capaz de organizar sus ideas, para intentar estructurar un diseño que le permitió llegar a una solución.

Por lo cual, se puede decir que él puede lograr un aprendizaje de sus errores, al ser señaladas las fallas por el docente, en el proceso de solución. Por lo cual, si se da la oportunidad de hacer una nueva revisión de las etapas desarrolladas, el alumno podría reflexionar en los conceptos e ir más allá de esta solución, llegando a iniciarse en la metacognición.

Algunas de las fallas de este alumno, podrían deberse a que no está familiarizado con el método de solución y esté apenas adaptándose con dicho método de solución, debido al poco tiempo que estuvo trabajando con este.

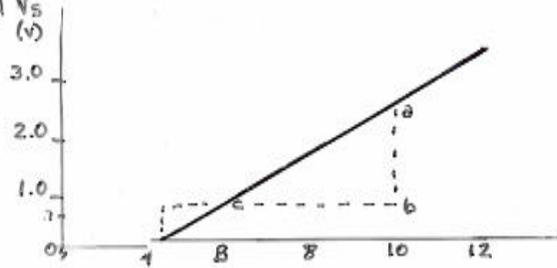
Por lo anterior, podría decirse, que si se implementara este método de solución, con un grupo propio, a lo largo del curso combinado con el ABP o con otras estrategias, posiblemente daría mejores resultados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para observar otras condiciones de resolución de problemas, se analiza un segundo ejemplo de cómo resuelve otro alumno un problema del mismo tema, el cual es diferente al problema anterior.

**2.** a) Determinar el valor de la función trabajo del sodio a partir de los datos mostrados en la gráfica. b) ¿Podría calcularse la constante de Planck  $h$ , a partir de los datos disponibles en la gráfica? Si la respuesta es sí, encuentra este valor y utilízalo para determinar la función trabajo.

## 2. TRADUCCIÓN.

- f : frecuencia  $H_3$
- $f_0$  : frecuencia umbral  $H_3$
- $V_0$  : Potencial de paro umbral  $V_0 = 0_V$
- $V_c$  : Potencial en punto c Potencial  $V_s$  de paro (v)
- $V_a$  : Potencial en punto a
- $V_b$  : Potencial punto b
- $f_c$  : frecuencia punto c
- $f_a$  : frecuencia punto a
- $f_b$  : frecuencia punto b
- h : cte de Planck
- $\phi$  : función de trabajo



### ANÁLISIS

1. Se puede calcular una pendiente con los triángulos que se forman en la gráfica
2. Conociendo la pendiente podemos calcular la función del trabajo
3. Por medio del Potencial de paro directamente proporcional a la frecuencia se obtendrá la función de trabajo.

### DISEÑO

$$\begin{aligned} \tan &= \frac{\text{cat. op.}}{\text{cat. ady.}} \\ &\downarrow \\ \tan &= \frac{ab}{cb} \longrightarrow \tan = \frac{V_a - V_b}{f_b - f_c} = \frac{V_c - V_0}{f_c - f_0} = \frac{h}{e} \\ &\downarrow \\ &\phi = h f_0 \end{aligned}$$

### IMPLEMENTACION

$$\begin{aligned} \frac{V_c - V_0}{f_c - f_0} &= \frac{h}{e} \\ h &= \left( \frac{.7 - 0_V}{6 \times 10^{14} H_3 - 4.3 \times 10^{14}} \right) (1.6065 \times 10^{-19} C) \\ h &= 6.615 \times 10^{-34} J.s \end{aligned} \quad \begin{aligned} \phi &= h f_0 \\ \phi &= (6.615 \times 10^{-34} J.s) (4.3 \times 10^{14} H_3) \\ \phi &= 2.84445 \times 10^{-19} J \end{aligned}$$

Fig. 9 Problema resuelto por otro alumno, aplicando el TADIR, durante la clase.

## REVISIÓN

Nuestra traducción fue correcta por que nos ayudo a tener una visión amplia del problema.

El análisis estuvo bien planteado gracias a que fue corto y no nos confundió.

Con el diseño pudimos responder la interrogante del problema.

La implementación si dió el resultado buscado.

Fig. 10. Continuación de la resolución del problema anterior.

En este problema se puede observar que este alumno domina la etapa de Traducción y de Análisis, sin embargo, cuando establece la variable de frecuencia, no hace la observación adecuada de que las unidades de ésta son los Hertz; asimismo, en su dibujo de la gráfica no denota específicamente el eje de las abscisas como el que corresponde a las frecuencias.

En la etapa de análisis, le hace falta hacer una suposición que relacione a la pendiente de la recta en la gráfica con la constante de Planck.

En el diseño, no considera las condiciones iniciales, ni considera las suposiciones hechas en el análisis, para fundamentar las relaciones establecidas en éste. En este diseño plasma únicamente lo que él considera importante de la geometría, la gráfica, para poder llegar a la relación que contestará la pregunta y así obtener la solución del problema.

En la instrumentación, el alumno empieza considerando sólo la tercera relación establecida en el diseño y se sigue con las siguientes relaciones para obtener la solución pedida.

Por último, el alumno hizo una revisión muy general de las etapas que desarrollo para llegar a la solución, sin cuestionarse más acerca de este problema, esto quizá porque no le alcanzó el tiempo o porque su nivel cognitivo no le permite ir más allá, para hacer otras suposiciones que le permitan generalizar o establecer otros problemas similares.

Cabe señalar, que aún con las omisiones que tuvo este alumno en el desarrollo de las etapas del método TADIR, al resolver este problema, su resultado numérico fue el correcto, pero sería bueno que él hubiera realizado mejor estas etapas, para evitar algunas confusiones posteriores.

En general, se puede decir que las primeras cuatro etapas del TADIR, sí las desarrollan ambos alumnos, pero muy pocas veces hacen la etapa de revisión. Para ejemplificar cómo resuelven los problemas y las situaciones ABP otros alumnos, aplicando TADIR y ABP, se presentan algunos de sus exámenes en el Apéndice B, en el cual se puede observar cuáles son las etapas que mejor realizan en la solución de un problema y de una situación.

Tomando en consideración los resultados obtenidos en la solución de problemas de las Prácticas Docentes II y III, se puede decir que el método de solución de problemas TADIR es bastante útil para: detectar los errores conceptuales, habituar al alumno a tener orden en los procesos de solución, sistematizar y organizar mejor sus ideas.

Por todo lo cual, se puede decir que el TADIR permite evaluar tanto contenidos como procesos en el desarrollo del aprendizaje de un alumno. Es por esto que resulta una buena estrategia para resolver problemas de Física Moderna a Nivel Bachillerato.

## CONCLUSIONES

En la resolución de un problema de Física, necesitamos definir con claridad las variables que intervienen en él, para poder decidir como proceder en la búsqueda de la solución del mismo.

Por consiguiente, es importante que los alumnos conozcan que para resolver problemas, sobre todo en Física Moderna, necesitan conocer conceptos y procedimientos, así como tener un buen dominio de las operaciones básicas de las Matemáticas. Es por esto que es recomendable adoptar un método que les permita encontrar soluciones al problema por resolver.

Al aplicar los métodos ABP y TADIR a los grupos asignados en las prácticas docentes, se pudo establecer que fueron adoptados por los alumnos facilitándoles el proceso de solución de los problemas.

De manera particular el ABP<sup>55</sup>, como estrategia de enseñanza, fue de gran ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje, para introducir a los alumnos a situaciones, en donde tuvieron que analizar, reflexionar, detectar los problemas y tomar decisiones para su solución, esto se pudo constatar al aplicarlo en las Prácticas Docentes II y III.

De acuerdo a la experiencia adquirida en esta aplicación del ABP en el aula, es recomendable que al iniciar un tema se aplique este método, para establecer, primero, cuáles podrían ser los problemas o las preguntas que se presentan en un tema y después buscar su solución o respuesta a partir de la investigación.

---

<sup>55</sup> En este trabajo de tesis, se pudieron observar las bondades de este método al ser aplicado a 2 grupos de Bachillerato de la UNAM, en las prácticas docentes. Por otro lado, este método, aunque no ha sido evaluado en el TEC de Monterrey, está siendo implementado como base del desarrollo del currículo de Medicina y de algunas asignaturas de ciencias experimentales del Bachillerato de esta institución educativa. Por otra parte, como ya se mencionó en las ventajas del ABP, Vernon, D. T. y Blake R.L. (1993), reportan la evaluación de este método comparado con otros métodos tradicionales.

Sin embargo, en la aplicación que se hizo, durante las prácticas docentes se pudo experimentar que se invierte demasiado tiempo, lo cual hace difícil avanzar en el desarrollo de los temas, según los tiempos marcados en el programa; además, para grupos numerosos es más complicada la conducción del grupo, porque se pierde el control del trabajo de todos los alumnos, por todo esto, es recomendable aplicar éste al inicio de un tema y combinarlo con otras estrategias. Además, al aplicar el ABP de forma rutinaria<sup>56</sup>, se corre el riesgo de caer en la monotonía, lo cual impedirá obtener el éxito deseado en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Con base en la aplicación de los métodos TADIR y ABP en la solución de problemas de Física Moderna, durante las prácticas docentes, se puede concluir que el ABP sólo es recomendable aplicarlo en la introducción de un tema, para que el alumno identifique los problemas y sus alternativas de solución. Posteriormente, conviene aplicar el método TADIR para establecer las soluciones de cada uno de los problemas detectados.

Asimismo, se puede decir que el TADIR, por si mismo constituye una estrategia que ayuda a los alumnos a organizar<sup>57</sup> mejor sus ideas para la solución de los problemas, dándoles la oportunidad de razonar la solución, de tal forma que podrían construir otros problemas a partir de los que están resolviendo, es decir, les permite aplicar la metacognición en su proceso cognitivo. La aplicación exitosa del método TADIR podría lograrse, si se planean adecuadamente las actividades en un programa semestral, sin abusar del uso de este método como estrategia de solución de los problemas y sin extenderse demasiado en las revisiones, para evitar que se estanquen en un solo problema y no avancen en los temas.

Por otro lado, la disposición de los alumnos en la realización de las actividades encaminadas a la solución de los problemas resulta decisiva, para que se tenga

---

<sup>56</sup> Esta afirmación, es producto de la observación de la conducta de los alumnos al hacer problemas en cada con este método.

<sup>57</sup> Esto se pudo corroborar en los problemas que resolvieron los alumnos, para ejemplificar esto, se muestran algunos exámenes en el apéndice B de esta tesis.

éxito en la aplicación del ABP y el TADIR, porque sin deseos de aprender a resolver problemas no habría buenos resultados en la aplicación de estas estrategias, provocando un retraso en el avance del proceso de enseñanza-aprendizaje.

No obstante, las condiciones<sup>58</sup> en las que fueron aplicados estos dos métodos, se puede concluir que ambos ABP y TADIR fueron adoptados, en cierto grado, por la mayoría de los alumnos para resolver los problemas de Física Moderna

Esta experiencia de la aplicación del ABP y del método TADIR, en condiciones que no son las óptimas, durante las Prácticas Docentes II y III, realmente dio resultados satisfactorios, los cuales nos brindaron la oportunidad de observar las limitaciones y ventajas reales de éstos métodos, al ser aplicados como estrategias de enseñanza en el aula con grupos de Bachillerato. Asimismo, se pudo observar que el grado de aceptación de los dos métodos depende del tipo de enseñanza<sup>59</sup> al que esté acostumbrado el alumno.

En suma, con la aplicación de estas estrategias en el aula, se pudo detectar que:

1. La combinación de ambas mejora la eficiencia del proceso de enseñanza aprendizaje<sup>60</sup>. Esto se puede lograr siempre y cuando sean programadas adecuadamente las actividades en la planeación del curso y los grupos sean pequeños.
2. Es posible desarrollar temas de Física Moderna en el Bachillerato mediante la solución de problemas, si la enseñanza es no tradicional<sup>61</sup>.

---

<sup>58</sup> Éstas están determinadas por el hecho de que los grupos de prueba fueron prestados y las clases que se impartieron fueron de 4 a 9 sesiones.

<sup>59</sup> Esta podría ser una enseñanza tradicional o bien constructivista.

<sup>60</sup> Esto se pudo establecer comparando el aprovechamiento inicial y final de los grupos de las Prácticas Docentes II y III, a los que si se les aplicaron el ABP y el TADIR.

<sup>61</sup> Esto se pudo apreciar, observando las diferencias entre los grupos de CCH y la ENEP, en los cuales fueron probados estos métodos.

3. Lograr 1 y 2 requiere de más tiempo, ello no siempre es factible en condiciones realistas, no artificiales como en la práctica docente.
4. Un ejercicio simple de Física puede resultar un gran problema dado el nivel cognitivo de los alumnos de Bachillerato<sup>62</sup>.
5. En el desarrollo de las Prácticas Docentes II y III, ABP permitió introducir y preparar al alumno en el conocimiento de los temas de Física Moderna.
6. TADIR por sí mismo, detecta y muestra las fallas conceptuales y errores procedimentales del alumno al desarrollar sus diferentes etapas en la solución de los problemas.
7. TADIR permite que el alumno organice y sistematice mejor sus ideas acerca de los conceptos que necesita para resolver un problema.
8. TADIR permite evaluar procesos y no resultados en la evolución del proceso de aprendizaje, ofreciendo con esto, la oportunidad de realizar una evaluación formativa.
9. ABP y TADIR permiten que el alumno se inicie en el proceso de la indagación, como preámbulo para hacer una investigación más seria sobre diversos temas en sus cursos posteriores.
10. Los grupos del CCH y la ENP presentan algunas diferencias, en cuanto al desempeño de los alumnos y sus formas de enseñanza de sus respectivos sistemas de Bachillerato universitario.

---

<sup>62</sup> Se observó durante las prácticas docentes que algunos problemas numéricos resultaron complejos para los alumnos.

Viendo a futuro, se pueden establecerse las siguientes sugerencias, en cuanto a la utilidad de este trabajo de tesis, más allá del desarrollo de temas de Física Moderna en el aula.

1. Se pueden utilizar ABP y TADIR combinadas o separadas, para enseñar cualquier asignatura de Física, necesitándose para esto diseñar más problemas y situaciones adecuadas a los distintos temas desarrollados.
2. A partir de la aplicación en el aula de las estrategias desarrolladas en este trabajo, se puede realizar un seguimiento para establecer las ventajas y los alcances de las mismas.
3. Se puede establecer una comparación de los avances en el proceso de enseñanza aprendizaje de dos grupos del mismo grado. Enseñándoles a uno de estos grupos los temas por medio de la solución de problemas, utilizando las mismas estrategias desarrolladas en esta tesis y al otro grupo con diferentes estrategias para resolver los mismos problemas.

Por último, se puede decir que estas estrategias resultarían de gran utilidad tanto para el docente como para el alumno, siempre y cuando el docente haga una planeación adecuada a lo largo de un curso normal, tomando en cuenta todas las limitaciones y las características del grupo.

## APÉNDICE A

### DESARROLLO DE LA PRÁCTICA DOCENTE III

La Práctica Docente III, se realizó en la ENP-6, en el grupo 603 de Área 1, en la asignatura de Física con los temas de: Radiación del Cuerpo Negro y Efecto Fotoeléctrico, en el período del 31 de agosto al 30 de septiembre de 2005, durante 9 sesiones, las cuales se desarrollaron como se describe a continuación:

#### ***En la primera clase del 31 de agosto.***

- Se dio la apertura con:
  - La presentación: del programa, la forma de trabajo y la evaluación de las 9 sesiones.
  - Se les aplicó un examen diagnóstico, acerca de Radiación del Cuerpo Negro y Efecto Fotoeléctrico.
- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Se hizo una presentación acerca de Radiación del Cuerpo Negro aplicando una situación de aprendizaje fundamentada en el ABP.
  - Se organizaron en equipos de 5 alumnos para seguir la técnica de aprendizaje en la acción en la realización de todas las actividades.
- En el cierre de la clase del día:
  - Se resumió lo aprendido en esta clase.
  - Se dejó una situación de Radiación del Cuerpo Negro aplicando ABP de tarea para resolverse en equipo.
  - Se dio por terminada la clase.

#### ***En la segunda clase del día 2 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Recapitulación de lo visto en la clase anterior.
  - Expusieron los equipos la tarea consistente en la solución de la situación de Radiación del Cuerpo Negro aplicando el ABP.

- Mientras un equipo exponía los otros escuchaban y al final de cada exposición daban sus opiniones y sugerencias acerca de la solución de la situación para establecer la más completa.
- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Se modeló el método TADIR, en la solución de un problema de aplicación de Radiación del Cuerpo Negro.
  - Se explicó la conexión entre el ABP y el TADIR.
- En el cierre de la clase del día:
  - Se dejó un problema de tarea del tema para resolver con el método TADIR.
  - Se resumió lo visto en clase, haciendo ver la conexión del ABP con el TADIR.
  - Se dio por terminada la clase.

***Para la tercera clase del día 7 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Se pidió la tarea del problema resuelto con las 3 primeras etapas del TADIR.
  - Un representante de cada equipo, en 5 minutos presentó la resolución de este problema de tarea.
- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Durante 15 minutos, los alumnos resolvieron otro problema con el método TADIR, organizándose en sus equipos para que cada uno de ellos aportara algo en la búsqueda de la solución del mismo, cuando establecieron la solución, un miembro de cada equipo, pasó a exponer el problema resuelto.
- En el cierre de la clase del día:
  - Se resumió lo visto en clase.
  - Se dejó de tarea un problema para resolver con el método TADIR.
  - Se concluyó la clase.

***Para la cuarta clase del día 9 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Se pidió la tarea.
  - Un representante de cada equipo presentó la solución del problema de tarea.
- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Se modeló la resolución de un problema de aplicación del tema de Radiación del Cuerpo aplicando el método TADIR con todas sus etapas. Haciendo hincapié en el análisis y el diseño.
- En el cierre de la clase del día:
  - Los alumnos resolvieron un problema de aplicación del tema de Radiación del Cuerpo Negro.
  - Para establecer la solución de este problema los equipos trabajaron durante 10 minutos en la discusión de éste, todos los miembros de cada equipo participaron ordenadamente para establecer la solución del problema, organizándose de tal forma que todos conocieran cómo resolverlo, en cada una de las etapas del TADIR. Después de 5 minutos más, uno de los equipos estableció la solución del problema, presentándola frente a todo el grupo para su consideración.
  - Se hizo la observación de que trataran de hacer una revisión adecuada de la solución de sus problemas.
  - Se dejaron 3 problemas de tarea para resolver con todas las etapas del Método TADIR.
  - Se dio por terminada la clase.

***Para la quinta clase del día 14 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Recordatorio de lo visto la clase anterior.

- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Se resumió el tema de Radiación del Cuerpo.
  - Se dejó de tarea una investigación sobre el tema de Efecto Fotoeléctrico, los equipos se organizaron para realizar la distribución de actividades para dicha investigación extra-clase.
- En el cierre de la clase del día:
  - Se aplicó el examen diagnóstico intermedio de conocimientos del tema de Radiación del Cuerpo.
  - Se aplicó el cuestionario de autoevaluación del alumno, para detectar la aceptación del ABP y el método TADIR y su eficiencia.
  - Se concluyó la clase al finalizar los cuestionarios.

***Para la sexta clase del día 21 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Se revisó la tarea.
  - Se modeló una situación de ABP del tema de Efecto Fotoeléctrico.
- En el desarrollo de la clase en este día:
  - Los alumnos resolvieron una situación de ABP del tema de Efecto Fotoeléctrico. Organizándose de acuerdo a la Técnica de Aprendizaje en la Acción, durante 15 minutos todos los equipos resolvieron la situación ABP, cada integrante del equipo participó activamente en la solución de la misma.
- En el cierre de la clase del día:
  - Aunque todos los integrantes del equipo estaban capacitados para exponer la solución sólo un representante de cada equipo pasó a presentar la solución de la situación ABP.
  - Después de que se discutieron todas las soluciones, se hicieron las observaciones y sugerencias para mejorarlas, se resumió lo aprendido.
  - Se dio por terminada la clase.

***Para la séptima clase del día 23 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Se recordó lo visto la clase anterior y se relaciono el ABP con el método TADIR, haciendo hincapié en la importancia de las pistas para establecer la traducción en el método TADIR.
  - Se modeló la resolución de un problema con el método TADIR.
- En el desarrollo de la clase en este día :
  - Los alumnos resolvieron un problema de aplicación del Efecto Fotoeléctrico. Organizándose para realizar todas las etapas del método TADIR, en 15 minutos como máximo, para que pudieran redactar en un acetato toda la resolución de este problema.
- En el cierre de la clase del día:
  - Cada equipo presentó la solución del problema, nombrando un miembro del equipo diferente para cada problema para que pasará exponer la solución de éste, esto con el fin de que todos participaran en la exposición.
  - Se revisaron las soluciones de cada equipo, dándose sugerencias y observaciones para mejorar la solución de los mismos.
  - Se dejó un problema de tarea para resolver con el método TADIR.
  - Se dio por terminada la clase.

***Para la octava clase del día 28 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - Se recordó lo visto la clase anterior.
  - Cada equipo nombró a uno de sus integrantes para la exposición de los problemas de tarea.
  - Se repartió una lista de problemas.
- En el desarrollo de la clase en este día :
  - Cada equipo se organizó en clase, para la resolución de un problema de la lista aplicando el método TADIR.

- En el cierre de la clase del día:
  - Los equipos presentaron la solución del problema seleccionado.
  - Se revisaron las soluciones de cada equipo, mencionando que era indispensable realizar la etapa de revisión, incluso cuando la solución del problema fuera correcta.
  - Se dio por terminada la clase.

***Para la última clase del día 30 de Septiembre.***

- Se dio la apertura con:
  - La recapitulación del tema de Radiación del Cuerpo y su relación con el Efecto Fotoeléctrico, así como se explicó la importancia que tuvo para el origen de la Física Moderna.
- En el desarrollo de la clase en este día :
  - Se explicaron los avances del grupo.
  - Se aplicó el examen diagnóstico final de conocimientos.
- En el cierre de la clase del día:
  - Se recogieron los exámenes.
  - Se aplicó el cuestionario de eficiencia del método TADIR.
  - Se recogieron los cuestionarios.
  - Se dio por terminada la clase.

Después de la última clase se dieron las calificaciones de los alumnos, las cuales fueron obtenidas a partir de las evaluaciones Diagnóstica, Formativa y Sumativa.

## APÉNDICE B

### EJEMPLOS DE EXÁMENES Y PROBLEMAS RESUELTOS POR LOS ALUMNOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CUESTIONARIO DE CONOCIMIENTOS PREVIOS.

Nombre: Santiago Benito Morales Edad: 17 Sexo: F  
Escuela: CCH Azcapotzalco Grado: 2 Turno: M.L. Núm. de hermanos: 2  
Ocupación del padre: Empleado de gob. Ocupación de la madre: Hogar

7.5

INTRUCCIONES: Contesta las preguntas lo más ampliamente posible y realiza las actividades que se te indican.

1. ¿Qué entiendes por niveles de energía?

Los electrones no pueden moverse continuamente en el átomo, pero a pasos precisos se considera que los electrones tienen niveles de energía específicos. Niveles que varían de acuerdo a la serie en que se localizan y la región, ejemplo: Paschen que se encuentra en la región infrarroja.

2. ¿Qué región comprende la serie de Balmer?

Óptica

3. ¿En qué región está la serie de Lyman?

ultravioleta

4. Calcular la energía de ionización de Hidrógeno, si la longitud de onda más corta en la serie de Balmer se determina en 3650 Å. Establecer la traducción, análisis, diseño, instrumentación y revisión para la solución de este problema.

$\lambda_2$

→ otro pág

5. ¿Qué tienen en común el modelo atómico de Bohr y el efecto fotoeléctrico?

En ambos fenómenos hay emisión de electrones. En primer lugar al calentar un átomo los electrones saltan a niveles más altos. Asimismo, en el efecto fotoeléctrico, como ya se mencionó, los electrones son excitados y estos se desprenden.

Por último, los dos conceptos pertenecen a la física moderna.

Fig.11. Examen resuelto por un alumno de CCH-Azcapotzalco, Práctica Docente II

Observemos cómo resolvió este alumno, el problema número 4, con el método TADIR.

\* PISTAS  
 - LEY ACERCA DE LA RADIACIÓN DEL CN  
 - INTERPRETO QUE LA HIPÓTESIS DE PLANCK CONSISTIÓ EN SUPONER QUE LAS PAREDES DEL CN SE COMPORTAN COMO OSCILADORES QUE PUEDEN VIBRAR CON TODAS LAS FRECUENCIAS POSIBLES.  
 - LA ENERGÍA NO PUEDE TOMAR CUALQUIER VALOR, SIENDO DISCRETA Y CONTINUA.

\* PROBLEMAS:  
 - ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN DEL CN?  
 - ¿QUÉ DICE LA HIPÓTESIS DE PLANCK?

\* HIPÓTESIS:  
 - ES LA ENERGÍA QUE IRRADIA EL CN Y QUE SE LOCALIZA EN EL ESPECTRO VISIBLE.  
 - LA ENERGÍA SE TRANSMITE DE FORMA DISCRETA Y DISCONTINUA, EN CUANTOS.

\* ÁREAS O TEMAS A INVESTIGAR:  
 - RADIACIÓN  
 - CUERPO NEGRO  
 - HIPÓTESIS DE PLANCK  
 - CUANTOS

→ TRADUCCIÓN  
 - SOL = CN  
 -  $I = 1398 \text{ W/m}^2$  (INTENSIDAD DE RADIACIÓN) =  $1.398 \times 10^3 \text{ W/m}^2$   
 -  $R_c = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$  (RADIO DEL SOL)  
 -  $r = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$  (RADIO DEL SOL A TIERRA)  
 -  $T = ?$

+ ANÁLISIS  
 S1: LA INTENSIDAD ES IGUAL A  $I = \sigma T^4$  Y DESPEJANDO, T ES IGUAL A  $\sqrt[4]{\frac{I}{\sigma}}$   
 S2: EL ÁREA DE EMISIÓN ES IGUAL A  $4\pi r^2$   
 S3: LA POTENCIA ES IGUAL A LA INTENSIDAD POR EL ÁREA DE EMISIÓN.  
 S4: LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN DIFERENTE DEL RADIO DEL CUERPO ES:  $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

+ DISEÑO

```

    graph TD
        A[CONDICIONES INICIALES] --> B["I = σT⁴"]
        A --> C["A = 4πr²"]
        A --> D["P = IA"]
        A --> E["I = P / (4πr²) = σT⁴ R² / r²"]
        B --> F["T = √[4]{I/σ}"]
    
```

+ IMPLEMENTACIÓN  
 $I = \sigma T^4 \rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{I}{\sigma}} \rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{1.398 \times 10^3 \text{ W/m}^2}{5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4}} = 1.2553 \times 10^4 \text{ K}$   
 $A = 4\pi r^2 = 4\pi (6.96 \times 10^8 \text{ m})^2 = 6.087 \times 10^{18} \text{ m}^2$   
 $P = IA = (1.398 \times 10^3 \text{ W/m}^2)(6.087 \times 10^{18} \text{ m}^2) = 8.5101 \times 10^{21} \text{ W}$   
 $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{8.5101 \times 10^{21} \text{ W}}{4\pi (1.49 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 1.3979 \times 10^3 \text{ W/m}^2$

Fig. 12. Continuación de la resolución del examen anterior.

Como se puede notar, este alumno hizo una revisión de las etapas, demasiado escueta, por lo cual no logró establecer la solución correcta del problema.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
1er. Examen. de Física

Profesora Alejandra Lira Vázquez.

Nombre: Javier Aragón Navarro Edad: 19 Sexo: 603  
No. De cuenta. 30323852-6 Plantel: 6 Grado: sexto Turno: Matutino

INSTRUCCIONES: Contesta las preguntas y resuelve los problemas planteados.

1.- ¿Cuál fue la hipótesis de Planck, que dio origen a la Física Moderna?  
(Paquetes de energía)  $\rightarrow$  fue una relación de la termodinámica con la física clásica la cual tubo que realizar varios experimentos con la radiación para llegar a una teoría cuántica

2.- ¿Qué es la catástrofe del ultravioleta?

Es el conflicto al cual se enfrentó la física clásica para al tratar de explicar por qué no llegaba al ultravioleta

3.- ¿La relación de Wien para la intensidad del cuerpo negro solo funcionaba para qué tipo de longitudes de onda?

Solo visibles dentro en una emisión de radiación

4.- ¿Qué es radiación térmica?

Es ocasionado por el movimiento molecular de la materia y ocasiona energía cinética, por definición el movimiento genera energía térmica que tiene la propiedad de desplazarse por el espacio en forma

5.- ¿Qué es un cuerpo negro? de radiación (ondas)

Es todo cuerpo definido que absorbe energía o radiación y tiende a liberarla.

6.- Dada la siguiente situación, establecer las pistas, los problemas que se generan, las hipótesis y áreas o temas a investigar.

REFLEXIONES DE PLANCK

Alfredo es un profesor de Física Moderna, al preparar una de sus clases introductorias de ese tema leyó acerca de la radiación del cuerpo negro, él interpreta que la hipótesis de Planck consistió en suponer que las paredes del cuerpo negro se comportan como osciladores armónicos que pueden vibrar con todas las frecuencias posibles, donde la energía radiante intercambiada en cualquiera de estos osciladores no puede tomar cualquier valor, siendo esta discreta y discontinua.

Pistas	Problemas	Hipótesis	Área Tema a investigar
radiación del cuerpo negro Física Moderna hipótesis de Planck oscilaciones armónicas	Por qué la energía no toma un valor continuo al vibrar en las frecuencias del oscilador armónico	los osciladores vibran en paquetes y esta se manifiesta de acuerdo a la energía	Física Moderna (cuántica) Planck y sus hipótesis con marco histórico

7.- Si suponemos que el Sol emite en todas las direcciones de forma isotrópica comportándose como un cuerpo negro. La intensidad de la radiación solar medida en la órbita de la Tierra es  $I = 1398 \text{ W/m}^2$ , el radio del Sol es  $R = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$  y la distancia del centro del sol hacia la tierra es  $r = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$ , Cuál será la temperatura a la que emite el sol esa intensidad de radiación. Resuelve por el método TADIR. (Establece: Traducción, Análisis, diseño, instrumentación o implementación y revisa tu respuesta a la solución)

Sol

$I = 1398 \text{ W/m}^2$

radio =  $6.96 \times 10^8 \text{ m}$

distancia del centro del sol a la tierra  $r = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$

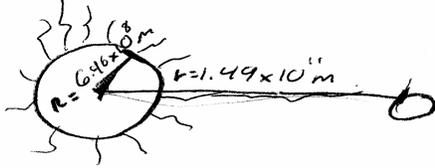
Fig. 13. Examen resuelto por un alumno de la ENP-6, Práctica Docente III.

En el problema 6, el alumno resuelve la situación ABP estableciendo las pistas, los problemas, las hipótesis y las áreas o tema de estudio, tal parece que si ha empezado a habituarse con el ABP, en la solución de situaciones de Física Moderna.

Además, al resolver el problema 7, este alumno no hace una aplicación del TADIR, pero logra encontrar la solución de éste. Como se puede notar a continuación.

Intensidad de radiación del sol  $1398 \text{ w/m}^2$

Temperatura del sol?



$\frac{m \cdot K}{s}$

Ley de desplazamiento de Wien

$$\lambda_m \cdot T = a$$

$$a = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

$$\lambda_m = \frac{a}{T}$$

Ley Stefan-Boltzmann

$$T = \frac{a}{\lambda_m}$$

$$I_{SB} = \sigma T^4$$

$$I = \frac{P}{A}$$

$$\left( \frac{P}{A} = \frac{I}{\sigma} \right)^{1/4}$$

$$P = \sigma A T^4$$

$\lambda_m?$

~~$P = I \cdot A$~~

1398 =

La longitud de onda es la distancia del centro del sol a la tierra  $1.49 \times 10^{11} \text{ m}$

Utilizando la ley de desplazamiento de Wien  
Tenemos que

$$T = \frac{a}{\lambda_m}$$

$$T = \frac{2.898 \times 10^{-3} \text{ mK}}{1.49 \times 10^{11} \text{ m}}$$

$$T = 1.9446 \times 10^{-14} \text{ K}$$

Para revisar el posible resultado utilizaremos la fórmula de Intensidad de radiación diferente del rador del cuerpo

$$I = \sigma T^4 \left( \frac{R^2}{r^2} \right)$$

$$1398 = 5.663 \times 10^{-8} (1.9446 \times 10^{-14})^4 \left( \frac{6.96 \times 10^8}{1.49 \times 10^{11}} \right)^2$$

Nuestra respuesta es falsa

Utilizaremos la misma ecuación pero despejamos  $T^4$   
el como resultado nos da

$$5799.6751 \text{ K} = 5.799 \times 10^3 \text{ K}$$

Fig.14. Continuación del examen anterior.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
1er. Examen. de Física

Profesora Alejandra Lira Vázquez.

Nombre: ORITA GARCÍA CLAUDIA LETICIA Edad: 17 Sexo: F  
No. De cuenta: 304153004 Plantel: EXP6 Grado: 60. Turno: MAUTINO.

INTRUCCIONES: Contesta las preguntas y resuelve los problemas planteados.

1.- ¿Cuál fue la hipótesis de Planck, que dio origen a la Física Moderna?

QUE LA ENERGÍA SE TRANSMITE POCO A POCO EN UNIDADES LLAMADAS CUANTOS

2.- ¿Qué es la catástrofe del ultravioleta?

LA IMPOTENCIA DE RAYLEIGH-JEANS DE NO PODER EXPLICAR POR QUÉ EL ESPECTRO DEL CUERPO NEGRO TENÍA TAL DISTRIBUCIÓN.

3.- ¿La relación de Wien para la intensidad del cuerpo negro solo funcionaba para que tipo de longitudes de onda?

CON LAS LONGITUDES DE ONDA PEQUEÑAS.

4.- ¿Qué es radiación térmica?

ES LA ENERGÍA CALORÍFICA QUE DESPRENDE UN CUERPO.

5.- ¿Qué es un cuerpo negro?

ES AQUEL QUE ABSORBE TODA LA ENERGÍA QUE IRRADIA EN ÉL, QUE NO LA REFLEJA, PERO QUE PUEDE EMITIRLA.

6.- Dada la siguiente situación, establecer las pistas, los problemas que se generan, las hipótesis y áreas o temas a investigar.

**REFLEXIONES DE PLANCK**

Armando es un profesor de Física Moderna, al preparar una de sus clases introductorias de ese tema leyó acerca de la radiación del cuerpo negro, él interpretó que la hipótesis de Planck consistió en suponer que las paredes del cuerpo negro se comportan como osciladores armónicos que pueden vibrar con todas las frecuencias posibles, donde la energía radiante intercambiada en cualquiera de estos osciladores no puede tomar cualquier valor, siendo esta discreta y discontinua.

7.- Si suponemos que el Sol emite en todas las direcciones de forma isotrópica comportándose como un cuerpo negro. La intensidad de la radiación solar medida en la órbita de la Tierra es  $I=1398 \text{ W/m}^2$ , el radio del Sol es  $R=6.96 \times 10^8 \text{ m}$  y la distancia del centro del sol hacia la tierra es  $r=1.49 \times 10^{11} \text{ m}$ . Cuál será la temperatura a la que emite el sol esa intensidad de radiación. Resuelve por el método TADIR (Establece: Traducción, Análisis, diseño, instrumentación o implementación y revisa tu respuesta a la solución)

Fig. 15. Examen resuelto por otro alumno de la ENP-6, durante la Practica Docente III.

En los problemas 6 y 7, que resuelve este alumno, se nota mayor orden y mejor manejo del ABP, así como del método TADIR, al resolver los problemas, sin embargo, el valor numérico obtenido no fue el correcto, quizá porque no hizo la revisión de las distintas etapas del TADIR.

\* PISTAS

- LEYÓ ACERCA DE LA RADIACIÓN DEL CN
- INTERPRETÓ QUE LA HIPÓTESIS DE PLANCK CONSISTIÓ EN SUPONER QUE LAS PAREDES DEL CN SE COMPORTAN COMO OSCILADORES QUE PUEDEN VIBRAR CON TODAS LAS FRECUENCIAS POSIBLES.
- LA ENERGÍA NO PUEDE TOMAR CUALQUIER VALOR, SIENDO DISCRETA Y CONTINUA.

\* PROBLEMAS:

- ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN DEL CN?
- ¿QUÉ DICE LA HIPÓTESIS DE PLANCK?

\* HIPÓTESIS:

- ES LA ENERGÍA QUE IRRADIA EL CN Y QUE SE LOCALIZA EN EL ESPECTRO VISIBLE.
- LA ENERGÍA SE TRANSMITE DE FORMA DISCRETA Y DISCONTINUA, EN CUANTOS

\* ÁREAS O TEMAS A INVESTIGAR

- RADIACIÓN
- CUERPO NEGRO
- HIPÓTESIS DE PLANCK
- CUANTOS



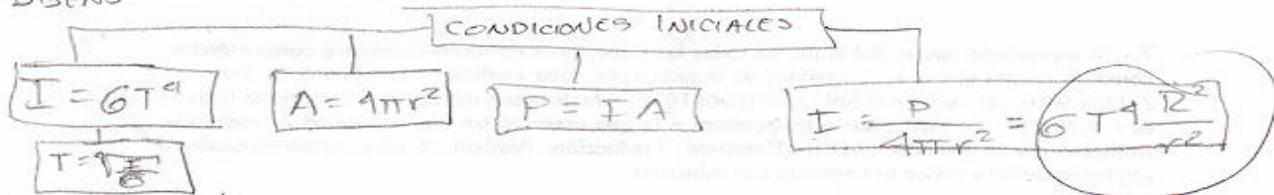
→ TRADUCCIÓN

- SOL = CN
- $I = 1398 \text{ W/m}^2$  (INTENSIDAD DE RADIACIÓN) =  $1.398 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$
- $R = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$  (RADIO DEL SOL)
- $r = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$  (RADIO DEL SOL A LA TIERRA)
- $T = ?$

→ ANÁLISIS

- $S_1$  = LA INTENSIDAD ES IGUAL A  $I = \sigma T^4$  Y DESPEJANDO,  $T$  ES IGUAL A  $\sqrt[4]{\frac{I}{\sigma}}$
- $S_2$  = EL ÁREA DE EMISIÓN ES IGUAL A  $4\pi R^2$
- $S_3$  = LA POTENCIA ES IGUAL A LA INTENSIDAD POR EL ÁREA DE EMISIÓN.
- $S_4$  = LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN DIFERENTE DEL RADIO DEL CUERPO ES:  $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

→ DISEÑO:



→ IMPLEMENTACIÓN

$I = \sigma T^4 \rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{I}{\sigma}} \quad T = \sqrt[4]{\frac{1.398 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2}{5.666 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4}} = 1.2533 \times 10^{-1} \text{ K}$   
 $A = 4\pi R^2 = 4\pi (6.96 \times 10^8 \text{ m})^2 = 6.087 \times 10^{18} \text{ m}^2$   
 $P = I A = (1.398 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2)(6.087 \times 10^{18} \text{ m}^2) = 8.5101 \times 10^{15} \text{ W}$   
 $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{8.5101 \times 10^{15} \text{ W}}{4\pi (1.49 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 1.3979 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$

Fig. 16. continuación del examen anterior.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

1er. Examen. de Física

Profesora Alejandra Lira Vázquez.

Nombre: Pérez Rueda Gabriela Edad: 17 Sexo: Femenino

No. De cuenta: 30419087-8 Plantel: 6 Grado: 603 Turno: Matutino

INTRUCCIONES: Contesta las preguntas y resuelve los problemas planteados.

1.- ¿Cuál fue la hipótesis de Planck, que dio origen a la Física Moderna?

Que la energía se transportaba por medio de paquetes llamados cuantos.

2.- ¿Qué es la catástrofe del ultravioleta?

Es a: cuando se calienta un cuerpo negro nunca va a llegar al ultravioleta, se queda en el visible.

3.- ¿La relación de Wien para la intensidad del cuerpo negro solo funcionaba para que tipo de longitudes de onda?

Longitudes de onda corta.

4.- ¿Qué es radiación térmica?

Es la cantidad de energía térmica que desprende (emite) un cuerpo.

5.- ¿Qué es un cuerpo negro?

Un cuerpo que absorbe toda la energía que incide sobre él y la emite pero no la puede reflejar.

6.- Dada la siguiente situación, establecer las pistas, los problemas que se generan, las hipótesis y áreas o temas a investigar.

REFLEXIONES DE PLANCK

Armando es un profesor de Física Moderna, al preparar una de sus clases introductorias de ese tema leyó acerca de la radiación del cuerpo negro, él interpreto que la hipótesis de Planck consistió en suponer que los parades del cuerpo negro se comportan como osciladores armónicos que pueden vibrar con todas las frecuencias posibles, donde la energía radiante intercambiada en cualquiera de estos osciladores no puede tomar cualquier valor, siendo esta discreta y discontinua.

Pistas:  
 \* Ecuación de l  
 cuerpo negro.  
 \* Los parades del cuerpo  
 negro se comportan  
 como osciladores armónicos  
 que pueden vibrar con todas  
 la frecuencias posibles.

→ La energía radiante intercambia  
 en cualquier de estos osciladores  
 no puede tomar cualquier valor  
 siendo esta discreta y  
 discontinua.

7.- Si suponemos que el Sol emite en todas las direcciones de forma isotrópica comportándose como un cuerpo negro. La intensidad de la radiación solar medida en la órbita de la Tierra es  $I=1398 \text{ W/m}^2$ , el radio del Sol es  $R=6.96 \times 10^8 \text{ m}$  y la distancia del centro del sol hacia la tierra es  $r=1.49 \times 10^{11} \text{ m}$ , Cuál será la temperatura a la que emite el sol esa intensidad de radiación. Resuelve por el método TADIR (Establece: Traducción, Análisis, diseño, instrumentación o implementación y revisa tu respuesta a la solución)

Traducción:  
 $I = 1398 \text{ W/m}^2$   
 $R = 6.96 \times 10^8$   
 $r = 1.49 \times 10^{11}$   
 $T = ?$

Análisis:  
 Cuerpo Negro.  
 Si intensidad de radiación es la relación  
 de  $\frac{P}{A}$   
 Si intensidad de radiación dife entre  
 del radio del cuerpo  
 $I = \sigma T^4 \frac{R^2}{r^2}$

Fig. 17. Examen resuelto por otro alumno de la ENP-6, en la Practica Docente III.

6 Reflexiones de Planck

Problema

- 1 ¿Que es un cuerpo negro?
- 2 ¿Porque la energia radiante no puede tomar cualquier valor?

Hipótesis

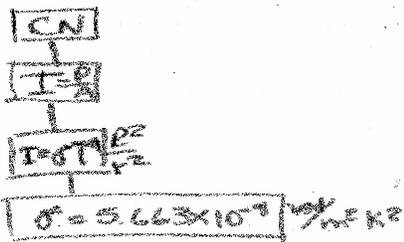
1. Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la energia q incide sobre él
2. La energia radiante no toma cualquier valor si no uno solo porque es una constante.

Temas o Areas a Investigar

La Constante de Planck  $h$   
Comportamiento del cuerpo negro.

7.  $\sigma$  es una constante  $5.663 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

DISEÑO



REVISION

$R_T$  = las variables de la traducción fueron las correctas.  
 $R_A$  = El analisis fue bueno y nos permitio entender el problema.  
 $R_D$  = Al diseño le faltó el despeje de la intensidad.  
 $R_I$  = La implementación nos permitió resolver correctamente el problema.

IMPLEMENTACIÓN

a)  $I = \sigma T^4 \frac{R_2}{R_1}$        $\frac{I}{\sigma \frac{R_2}{R_1}} = T^4$

$$1398 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = (5.663 \times 10^{-8}) (T^4) \left( \frac{6.96 \times 10^8}{1.99 \times 10^{11}} \right)$$

$$1398 = (5.663 \times 10^{-8}) (T^4) (0.000021819)$$

$$1398 = (1.2356099 \times 10^{-12}) (T^4)$$

$$\frac{1398}{1.2356099 \times 10^{-12}} = T^4$$

$$T = \sqrt[4]{1.131925 \times 10^{13}}$$
  

$$T = 1.834030084 \times 10^3 \text{ K}$$

$$T = 1834.030084 \text{ K}$$

Fig. 18. Continuación del examen anterior.

Esta alumna resuelve mejor los problemas del examen, porque hace uso correcto del ABP y del método TADIR. Sí establece todas las etapas en ambos métodos, pero en el caso del problema 7, no logra obtener el valor exacto, esto se debe a que no hizo una revisión a conciencia de la instrumentación o por no realizar adecuadamente las operaciones numéricas.

El siguiente problema fue resuelto en clase, aplicando el método TADIR.

2. De acuerdo con la teoría de Bohr ¿Cuántas revoluciones dura un electrón en el primer estado excitado del Hidrógeno, si el tiempo de vida en este estado es de  $10^{-9}$  s. Establecer el diseño, análisis y revisión de la solución propuesta.

TRADUCCIÓN.

- $N$ : número de revoluciones
- $\omega_2$ : velocidad angular en el primer estado excitado
- $r_1$ : radio del estado base  $0.529 \text{ \AA}$
- $r_2$ : radio del primer estado excitado  $4r_1$
- $v_1$ : velocidad en el estado base  $v_1 = \frac{c}{137}$
- $v_2$ : velocidad en el primer estado excitado del hidrógeno
- $t$ : tiempo de vida  $10^{-9}$  s
- $Z$ : número atómico 1 para H

ANÁLISIS

1. Con la teoría de Bohr se encuentran las revoluciones de un electrón al pasar a determinado estado.
2. Conociendo el tiempo de vida del estado excitado se podrá obtener las revoluciones del electrón de hidrógeno en dicho estado.
3. Un electrón, al cambiar de un estado a otro, va cierto número de revoluciones en un tiempo determinado.
4. El tiempo de vida es aquel lapso en el que el electrón pasa de un estado a otro.

DISEÑO.

$$\begin{array}{c}
 v_2 = \frac{v_0}{2} \qquad r_2 = n^2 r_1 \\
 \swarrow \qquad \searrow \\
 \omega_2 = \frac{v_2}{r_2} \\
 \downarrow \\
 N = \frac{\omega_2 t}{2\pi}
 \end{array}$$

CRUZ GARDUÑO ANA LECILIA

Fig. 19. Problema resuelto por un alumno del CCH-Azcapotzalco, en la Practica Docente II

### IMPLEMENTACION.

$$V_2 = \frac{V_1}{z} = \frac{c}{z(137)} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{274} = 1.1 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$r_2 = n^2 r_1 = 2^2 (.529) \text{ \AA} = 4 (.529) \text{ \AA} = 2.12 \text{ \AA}$$

$$\omega_2 = \frac{V_2}{r_2} = \frac{1.1 \times 10^7 \text{ m/s}}{2.12 \text{ \AA}} = 0.52 \times 10^{16} \text{ rad/s}$$

$$N = \frac{\omega_2 t}{2\pi} = \frac{(0.52 \times 10^{16} \text{ rad/s}) (10^{-9})}{6.28 \text{ rad/rev}}$$

$$N = 8.3 \times 10^6 \text{ rev}$$

### REVISIÓN.

- La traducción fue adecuada porque nos dio los datos adecuados para el desarrollo del problema.
- El análisis estuvo bien ya que proporciona las bases para la resolución del problema.
- El diseño fue bien planteado ya que tiene los datos y la incógnita del problema.
- La implementación fue correcta ya que se llegó al resultado que se quería.

Fig. 20. Continuación de la resolución del problema anterior.

Como se puede apreciar, en este problema resuelto en clase, aunque esta alumna obtiene la solución numérica correcta, el proceso que ella realizó en el diseño no estuvo correctamente estructurado, porque no estableció la relación entre las suposiciones del análisis con las expresiones marcadas en el diseño, además de que no partió de las condiciones iniciales. Por otro lado la revisión que realizó fue muy corta sin análisis crítico.

5 = 10

Nombre: Rodrigo Proch Norma Edad: 16 Sexo: Fem  
Colegio: Azcapotzalco No. De cuenta: 2 Grado: 2 Turno: Mat.

INTRUCCIONES: Contesta las preguntas lo más ampliamente posible y realiza las actividades que se te indican.

1.- ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?

Cuando las fotones inciden en una superficie metálica presentando una frecuencia mínima de umbral, los electrones se excitan y se liberan al exterior

2.- ¿Qué es la frecuencia de umbral?

Es la frecuencia mínima que debe presentar la luz para que el efecto fotoeléctrico sea realizado

3.- Da un ejemplo de aplicación del fenómeno de efecto fotoeléctrico explicándolo?

Filtros ópticos: los fotones de la luz chocan en la parte interior de ésta haciendo el color del gas visible

4.- ¿Qué importancia tiene el efecto fotoeléctrico en la física moderna?

Es el nuevo concepto de umbral que explica fenómenos que la física clásica no puede explicar nos ayuda a resolver problemas en escenarios reales de forma concisa e interesante.

5.- La función del trabajo del cadmio es 4.07 eV. Determinar la longitud de onda umbral para la emisión de fotoelectrones. Desarrolla las 3 primeras etapas del TADR únicamente.

Traducción

① trabajo = 4.07 eV; 1 eV =  $1.60 \times 10^{-19}$  J    ② Vel luz =  $3 \times 10^8$  m/s

③  $\lambda =$  Longitud de onda umbral p/emisión de fotoelectrones

④  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  J = Constante de Planck

Análisis

Si la longitud de onda umbral depende del trabajo realizado; si  $W$  aumenta,  $\lambda$  aumenta también

Si  $h$  es constante de Planck, la velocidad de la luz y la función de trabajo, se podrá calcular  $\lambda$

Fig. 21. Primer Examen resuelto por una alumna de CCH, Practica Docente II.

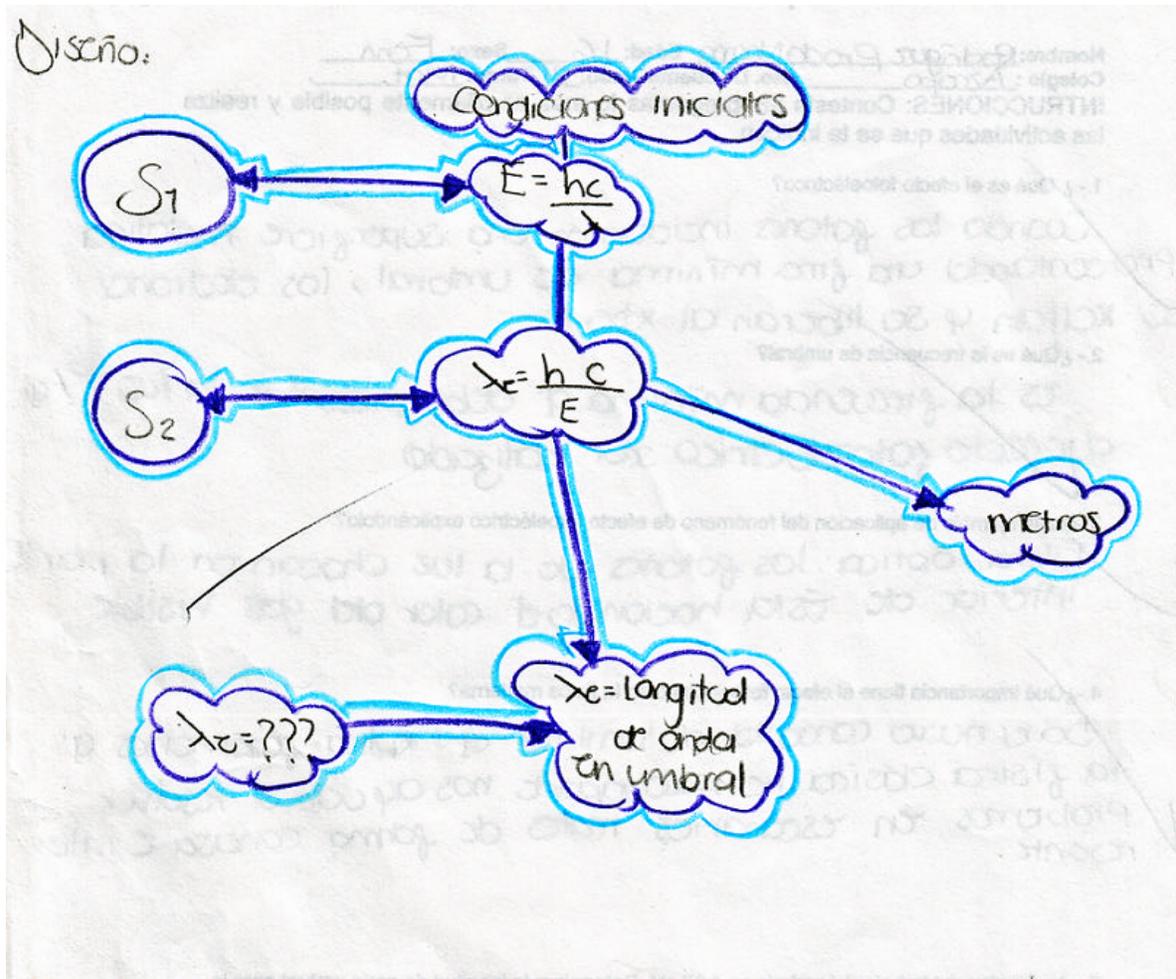


Fig. 22. Continuación del examen anterior.

Esta alumna realizó adecuadamente las tres etapas pedidas en el problema 5, esto le serviría para encontrar la solución del problema, si hubiera sido requerida una solución al problema.

1347

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**  
Examen diagnóstico de conocimientos.

Nombre: AN ARIEL CANZAL GARIBAY Edad: 17 Sexo: MASC  
No. De cuenta: 3047017 Plantel: 6 Turno: M.

INSTRUCCIONES: Contesta las preguntas lo más ampliamente posible

- 1.- ¿Qué es un fotón?  
✓ ES UNA PARTICULA DE LUZ
- 2.- ¿Qué es la frecuencia?  
✓ ES LA CANTIDAD DE ONDAS QUE CARGAN EN CIERTO TIEMPO.
- 3.- ¿Qué es radiación?  
✓ EMISIÓN DE ENERGÍA DE UN CUERPO
- 4.- ¿Qué es radiación térmica?  
✓ EMISIÓN DE ENERGÍA CALORÍFICA DE UN CUERPO
- 5.- ¿Qué es un cuerpo negro?  
✓ ES UN CUERPO QUE ABSORBE ENERGÍA PERO NO DESPUEDE ENERGÍA POR LO CUAL SE VE NEGRO.
- 6.- ¿Conocías el ABP, aplicado a tus asignaturas de ciencias experimentales? Explica.  
NO
- 7.- ¿Conoces algún método de solución de problemas de Física? Explica.  
ANÁLISIS
- 8.- ¿Sabes qué es la Mecánica Cuántica? Explica.  
NO
- 9.- ¿Conoces a qué se refiere la Física Moderna? Explica.  
NO
- 10.- ¿Qué son las ondas electromagnéticas?  
✓ SON ONDAS ~~GENERADAS~~ POR ELECTROIMANES.  
EMITIDAS

OBSERVACION: SI PRIMERA CLASE NO ME AGRADO, PERO CAMBIEN PORQUE SINCERAMENTE ME ABURREN. TODOS EN BUENA ONDA

Fig. 23. Examen diagnóstico resuelto por un alumno de la ENP-6, Práctica Docente III.

En este examen se hacen varias preguntas, unas de concepto, otras se refieren a los métodos de solución de problemas y otras son de sondeo para detectar si han manejado el tema.

## APÉNDICE C

### PROBLEMAS REFERIDOS A LA RELATIVIDAD ESPECIAL

En este apéndice se presentan cinco problemas resueltos con el método TADIR, estos problemas no fueron probados en el aula. Sin embargo, fueron diseñados para que puedan ser consultados por alumnos y profesores de Bachillerato.

En estos problemas se trató de evitar confusiones en la comprensión y manejo de los sistemas de referencia. Tomando en cuenta lo anterior, se redactaron dichos problemas de manera concisa, estableciendo los datos necesarios para identificar cuándo se trata con un sistema  $S'$  y cuándo es un sistema  $S$ , considerando marcos de referencia inerciales. En estos problemas, los alumnos necesitan conocer y manejar conceptos involucrados en.

Esto significa, que los alumnos deben realizar pasos algebraicos, comprender cuándo son aplicables las transformaciones de Lorentz y las de Galileo, entender cómo se hace un balance de energía, qué significa la masa relativista y cuándo se conservan la energía y la cantidad de movimiento a velocidades cercanas a las de la luz.

### *PROBLEMAS RESUELTOS SEGÚN TADIR DE ESTE TEMA*

Para resolver los problemas de este tema, los alumnos tienen que manejar los conceptos de: marco de referencia inercial fijo y en movimiento, masa en reposo, energía relativista, cantidad de movimiento relativista, conservación de la cantidad de movimiento y de energía en colisiones, cuando las velocidades son cercanas a la de la luz, asimismo deben conocer las Transformaciones de Galileo y las de Lorentz. A continuación se presentan cinco problemas con su solución.

1.- Una regla de magnitud 30 cm se mueve en dirección a lo largo de su longitud, con velocidad relativa  $V$  respecto de un observador. Éste mide la longitud de la regla y la medición resulta de 24 cm. ¿Cuál es la velocidad  $V$ ?

**Solución**

**Traducción**

Las variables que se relacionan con la velocidad se describen a continuación.

$L_0$ : Longitud de la regla medida inicialmente,  $L_0 = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$ .

$g$ : Factor de contracción.

$L$ : Longitud de la regla en movimiento, medida por el observador,  $L = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m}$

$V$ : Velocidad relativa respecto a un observador.

$c$ : Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

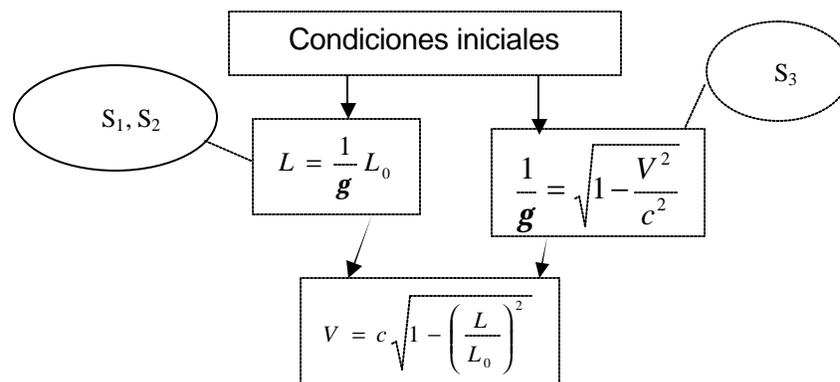
**Análisis**

$S_1$ : Como el sistema de referencia de la regla se está moviendo, la longitud de la regla en movimiento será menor que su longitud en reposo.

$S_2$ : La longitud de la regla en movimiento, es obtenida del producto del factor de contracción con la longitud de ésta en reposo.

$S_3$ : La razón de la velocidad de la regla entre la velocidad de la luz tiene relación con el factor de contracción.

**Diseño**



### **Instrumentación**

$$L = \frac{1}{\mathbf{g}} L_0$$

$$\frac{1}{\mathbf{g}} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

$$V = c \sqrt{1 - \left( \frac{L}{L_0} \right)^2}$$

$$V = c \sqrt{1 - \left( \frac{0.24 \text{ m}}{0.30 \text{ m}} \right)^2} = c \sqrt{1 - \left( \frac{0.04}{0.05} \right)^2} = c \sqrt{1 - \left( \frac{4}{5} \right)^2} = c \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = c \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5} c$$

$$V = 0.6c = 0.6(3 \times 10^8 \text{ m/s}) = \underline{\underline{1.8 \times 10^8 \text{ m/s}}}$$

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: En la traducción se establecieron las variables y las constantes necesarias para llegar a determinar la velocidad de la regla en movimiento, a partir de las longitudes y la velocidad de la luz.

R<sub>A</sub>: En el análisis se formularon las suposiciones basadas en los sistemas de referencia con objetos fijos y en movimiento, esto resultó de utilidad para fundamentar las expresiones de longitud y velocidad establecidas en el diseño.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron adecuadamente las relaciones de las longitudes en reposo y movimiento, para llegar a determinar la velocidad de la regla en movimiento a partir de éstas y de la velocidad de la luz.

R<sub>I</sub>: La instrumentación siguió los pasos marcados en el diseño, considerando que a partir de la relación de longitud contraída se obtiene la velocidad pedida.

2.- Dos astronautas que viajan desde la tierra a  $0.8c$ , descansan durante 3 hrs. e interrumpen su conexión con la tierra durante ese tiempo ¿Cuál es el tiempo de interrupción que detectan en la tierra?

**Solución**

**Traducción**

El tiempo de interrupción se relaciona con las siguientes variables:

$\Delta t$  : Tiempo transcurrido para los observadores en la tierra.

$\Delta t_a$  : Tiempo transcurrido para los astronautas,  $\Delta t_a = 3$  hrs.

$g$  : Factor de contracción.

$V$  : Velocidad de la nave  $V = 0.8c$

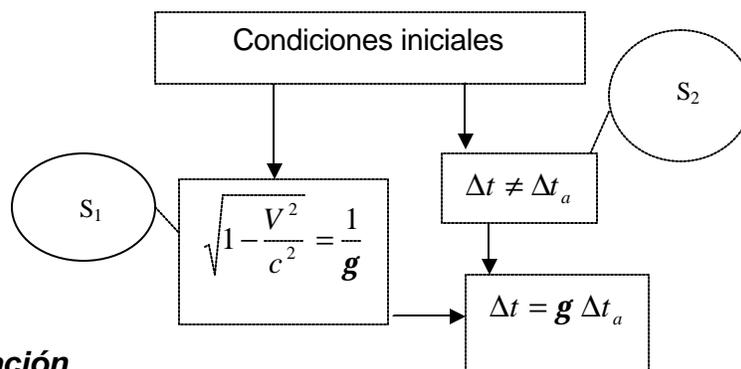
$c$  : Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

**Análisis**

$S_1$ : La razón de velocidad entre la velocidad de la luz está relacionada con el inverso del factor de contracción relativista e influye en el tiempo transcurrido.

$S_2$ : El tiempo transcurrido en la tierra será distinto al transcurrido para los astronautas en un factor debido a la magnitud de la velocidad.

**Diseño**



**Instrumentación**

$$g = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0.8c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.64c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.64}} = \frac{1}{\sqrt{0.36}} = \frac{1}{0.6} = \frac{10}{6} = \frac{5}{3}$$

$$\Delta t \neq \Delta t_a$$

$$\Delta t = g \Delta t_a$$

$$\Delta t = \frac{5}{3}(3 \text{ hrs.}) = 5 \text{ hrs.}$$

---

---

### **Revisión**

R<sub>T</sub>: En la traducción se establecieron adecuadamente las distintas variables y constantes que se relacionaban para conducir a la determinación del tiempo pedido.

R<sub>A</sub>: Las suposiciones establecidas se basaron en considerar la relación del factor de contracción y la dilatación del tiempo, éstas fueron suficientes para fundamentar las expresiones establecidas en el diseño.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron tres expresiones, la del factor de contracción, la consideración de tiempos distintos y la expresión para obtener el tiempo.

R<sub>i</sub>: En la instrumentación se siguieron las relaciones establecidas en el diseño, para determinar el valor del tiempo transcurrido en la tierra, en las horas de descanso.

3.- La longitud de onda más larga emitida por el Hidrógeno en la serie de Balmer tiene un valor de  $I_L = 656.3 \text{ nm}$ . La luz desde una galaxia lejana tiene un valor de  $I_G = 1312.6 \text{ nm}$ . Determinar la velocidad de alejamiento de esa galaxia respecto a la tierra.

### **Solución**

#### ***Traducción***

La velocidad de alejamiento de la galaxia respecto a la tierra esta relacionada con el efecto Doppler y con las variables que se describen a continuación.

$I_L$ : Longitud de onda más larga emitida por el Hidrógeno,

$$I_L = 656.3 \text{ nm} = 6563 \text{ \AA}.$$

$I_G$ : Longitud de onda de la luz emitida por la galaxia,  $I_G = 1312.6 \text{ nm} = 13126 \text{ \AA}$ .

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}, \quad 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ \AA}$$

$f_L$ : Frecuencia de la onda emitida por el Hidrógeno.

$f_G$ : Frecuencia de la luz emitida por la galaxia.

V: Velocidad de alejamiento respecto a la Tierra.

c: Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

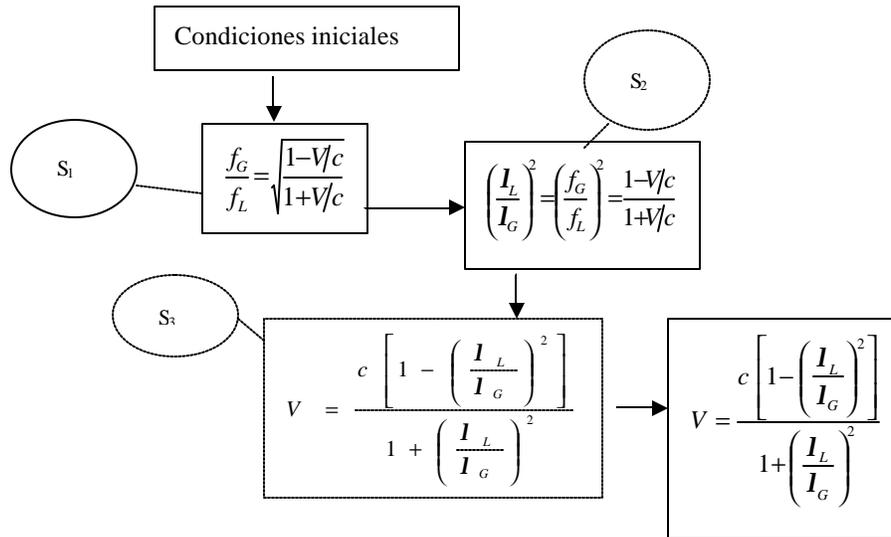
#### ***Análisis***

S<sub>1</sub>: De acuerdo al efecto Doppler, la razón de la frecuencia de alejamiento de la luz desde la galaxia entre la frecuencia de la luz emitida desde el Hidrógeno, en su frecuencia más corta, tiene relación con la razón de la velocidad de alejamiento respecto de la Tierra entre la velocidad de la luz.

S<sub>2</sub>: La razón de frecuencias es igual a la razón de los inversos de las longitudes de onda, porque la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda.

S<sub>3</sub>: El cuadrado de la razón de la longitud de onda de la luz emitida por el Hidrógeno y la longitud de onda desde la galaxia está relacionado con la razón de la velocidad de alejamiento y la velocidad de la luz.

## Diseño



## Instrumentación

$$\frac{f_G}{f_L} = \sqrt{\frac{1-V/c}{1+V/c}}$$

$$\left(\frac{I_L}{I_G}\right)^2 = \left(\frac{f_G}{f_L}\right)^2 = \frac{1-V/c}{1+V/c}$$

$$\frac{V}{c} = \frac{\left[ 1 - \left(\frac{I_L}{I_G}\right)^2 \right]}{1 + \left(\frac{I_L}{I_G}\right)^2}$$

$$V = \frac{c \left[ 1 - \left(\frac{I_L}{I_G}\right)^2 \right]}{1 + \left(\frac{I_L}{I_G}\right)^2} = \frac{c \left[ 1 - \left(\frac{6563}{13126}\right)^2 \right]}{1 + \left(\frac{6563}{13126}\right)^2} = \frac{c \left[ 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]}{1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{c \left[ 1 - \left(\frac{1}{4}\right) \right]}{1 + \left(\frac{1}{4}\right)} = \frac{c \left[ \frac{3}{4} \right]}{\frac{5}{4}} = \frac{3}{5}c = 0.6c$$

$$V = 0.6c = 1.8 \times 10^8 \text{ m/s}$$


---

## Revisión

$R_T$ : En la traducción se establecieron las variables y las constantes indispensables para determinar el valor de la velocidad. Si suponemos que la longitud de onda de la luz emitida desde la galaxia fuera la misma que se emite por el Hidrógeno, esto nos daría otro resultado diferente.

$R_A$ : En el análisis se establecieron sólo tres suposiciones que se basaron en el Efecto Doppler y la relación de la longitud de onda con la frecuencia, éstas fueron suficientes para fundamentar las expresiones del diseño.

$R_D$ : En el diseño se establecieron las expresiones para relacionar los datos de las longitudes de onda, para que a partir de ellas se determinara la velocidad pedida.

$R_I$ : La instrumentación siguió las relaciones establecidas en el diseño, para obtener la velocidad de alejamiento de la galaxia respecto a la tierra. Si la longitud de onda emitida por la galaxia fuera igual a la del Hidrógeno, la velocidad obtenida sería igual a cero, esto nos haría suponer que la galaxia no se mueve.

4.- Dos naves espaciales de 90 m de longitud (medidas en reposo) viajan una hacia otra con velocidades de  $0.9c$  relativas a la Tierra. ¿Qué velocidad tendrá cada nave medida por un observador que está en una de las naves y cuál será la percepción de este observador con respecto a la longitud de la otra nave?

### **Solución**

#### ***Traducción***

Las variables que tienen relación con la velocidad de la nave son las siguientes:

$L_{0d}$ : Longitud de la nave de la derecha medida inicialmente,  $L_{01} = 90 \text{ m}$ .

$L_{0i}$ : Longitud de la nave de la izquierda medida inicialmente,  $L_{02} = 90 \text{ m}$ .

$L_d$ : Longitud de la nave de la derecha medida por el observador de la nave izquierda.

$g$ : Factor de contracción.

$V$ : Velocidad del observador moviéndose hacia la derecha medida en el sistema S, relativa a la Tierra,  $V = 0.9c$ .

$V_x$ : Velocidad de la nave de la derecha en el sistema S, relativa a la Tierra,  
 $V_x = -0.9c$

$V'_x$ : Velocidad de la nave de la derecha medida en el sistema S', vista por un observador que está a la izquierda en la otra nave,  $V'_x = ?$ .

$V_d$ : Velocidad de la nave de la derecha medida por el observador de la nave de la izquierda  $V_d = ?$ .

$c$ : Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

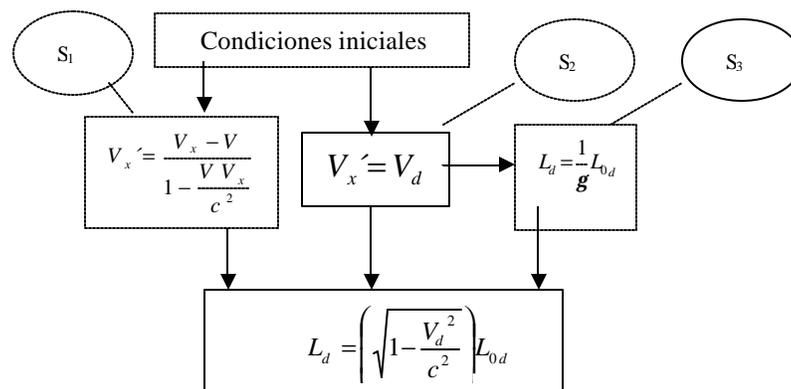
#### ***Análisis***

$S_1$ : La velocidad de la nave de la derecha vista por el observador de la nave de la izquierda se puede determinar a partir de la transformación relativista inversa de la velocidad.

S<sub>2</sub>: La nave de la derecha se mueve con velocidad  $V_d = V'_x$ , según el sistema S' del observador viajando en la nave izquierda.

S<sub>3</sub>: La longitud de la nave de la derecha vista por el observador de la nave izquierda se contrae y se puede determinar con la expresión de Lorentz de la longitud.

### Diseño



### Instrumentación

$$V'_x = \frac{V_x - V}{1 - \frac{V V_x}{c^2}} = \frac{-0.9c - 0.9c}{1 - \frac{0.9(-0.9)c^2}{c^2}} = \frac{-1.8c}{1.81} = -0.994c$$

$$V'_x = -2.983 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$V'_x = \underline{\underline{V_d = -0.994c}}$  Velocidad de la nave de la derecha mediada en el sistema S', vista por un observador que está en la otra nave.

$$L_d = \left( \sqrt{1 - \frac{V_d^2}{c^2}} \right) L_{0d}$$

$$L_d = \left( \sqrt{1 - \frac{V_d^2}{c^2}} \right) L_{0d} = \left( \sqrt{1 - \frac{(-0.994c)^2}{c^2}} \right) (90 \text{ m}) = \left( \sqrt{1 - \frac{.9880c^2}{c^2}} \right) (90 \text{ m}) = (\sqrt{1 - .9880})(90 \text{ m})$$

$$L_d = (\sqrt{0.012})(90 \text{ m}) = \underline{\underline{9.85 \text{ m}}}$$

El observador percibe que la longitud de la nave se contrae, reduciendo su longitud.

### ***Revisión***

$R_T$ : En la traducción se establecieron las variables y las constantes para determinar la velocidad y la longitud de la nave.

$R_A$ : Las suposiciones establecidas se basaron en los conceptos de sistemas de referencia  $S$  y  $S'$  y la contracción de la longitud, éstas fueron las suficientes para poder establecer las relaciones que permitieron fundamentar las expresiones establecidas en el diseño.

$R_D$ : El diseño permitió establecer la expresión de la velocidad para determinar la longitud pedida en el problema.

$R_I$ : La instrumentación siguió los pasos establecidos en el diseño, lo cual permitió determinar los valores de la velocidad y de la longitud de la nave en movimiento para contestar la pregunta adecuadamente.

5.- Una partícula de masa en reposo  $1 \text{ MeV}/c^2$  y energía cinética  $2 \text{ MeV}$  choca con una partícula estacionaria de masa en reposo  $5 \text{ MeV}/c^2$ . Después del choque, las dos partículas quedan unidas. ¿Cuál será su velocidad cuando las dos partículas se mueven juntas?

### **Solución**

#### ***Traducción***

La velocidad de las partículas moviéndose juntas se relaciona con las variables que a continuación se describen.

$m_{01}$ : Masa en reposo de la partícula 1,  $m_{01} = 1 \text{ MeV}/c^2$ .

$m_{02}$ : Masa en reposo de la partícula estacionaria 2,  $m_{02} = 5 \text{ MeV}/c^2$ .

$E_{c1}$ : Energía cinética de la partícula 1,  $E_{c1} = 2 \text{ MeV}$ .

$E_1$ : Energía total de la partícula 1.

$E_2$ : Energía total de la partícula 2.

$E_T$ : Energía total del sistema de partículas moviéndose juntas.

$p_f$ : Cantidad de movimiento después del choque.

$p_i$ : Cantidad de movimiento antes del choque.

$p$ : Cantidad de movimiento.

$V$ : Velocidad de las partículas moviéndose juntas.

$c$ : Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

#### ***Análisis***

$S_1$ : La energía total de una partícula es la suma de su energía cinética más la energía en reposo.

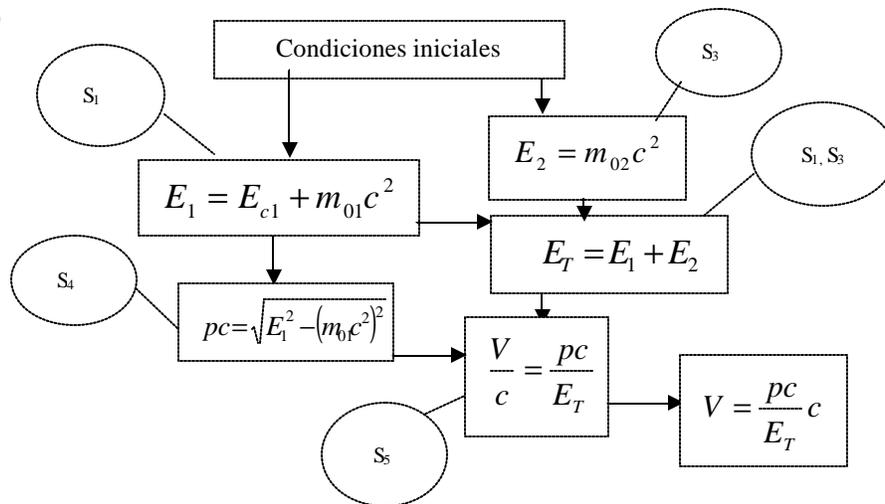
$S_2$ : Cuando una partícula está en reposo su energía cinética es cero.

$S_3$ : La energía total en el estado final es igual a la energía total inicial de las dos partículas por el principio de conservación de la energía.

S4: Por el principio de conservación de la cantidad de movimiento  $p = p_i = p_f$ , donde el producto  $pc$  está relacionado con la diferencia del cuadrado de la energía total de la partícula uno y el cuadrado de la energía en reposo de esa misma partícula.

S5: La relación de la velocidad del sistema de dos partículas con la velocidad de la luz es igual a la relación de  $pc$  con la energía total de las dos partículas.

### Diseño



### Instrumentación

$$E_1 = E_{c1} + m_{01}c^2 = 2 \text{ Mev} + 1 \text{ Mev} = 3 \text{ Mev}$$

$$E_2 = m_{02}c^2 = 5 \text{ Mev}$$

$$E_T = E_1 + E_2 = 3 \text{ Mev} + 5 \text{ Mev} = 8 \text{ Mev}$$

$$pc = \sqrt{E_1^2 - (m_{01}c^2)^2} = \sqrt{(3 \text{ Mev})^2 - (1 \text{ Mev})^2} = \sqrt{9(\text{Mev})^2 - 1(\text{Mev})^2} = \sqrt{8} \text{ Mev}$$

$$\frac{V}{c} = \frac{pc}{E_T} = \frac{\sqrt{8} \text{ Mev}}{8 \text{ Mev}} = \sqrt{\frac{8}{64}} = \sqrt{\frac{1}{8}}$$

$$V = \frac{pc}{E_T} c = c \sqrt{\frac{1}{8}} = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \sqrt{\frac{1}{8}} = \underline{\underline{1.061 \times 10^8 \text{ m/s}}}$$

### Revisión

R<sub>T</sub>: En la traducción se consideraron sólo las variables y las constantes que se utilizarían para la obtención de la velocidad.

R<sub>A</sub>: En el análisis se establecieron cinco suposiciones, las cuales se basaron en el concepto de energía y en el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

R<sub>D</sub>: En el diseño se establecieron las expresiones de la energía y la cantidad de movimiento, así como el balance de energía para determinar la velocidad final del sistema de las dos partículas, basándose en las cinco suposiciones hechas en el análisis.

R<sub>I</sub>: En la instrumentación se siguieron las expresiones establecidas en el diseño, lo cual permitió obtener el valor de la velocidad final del sistema de las dos partículas.

## APÉNDICE D

Calificaciones del grupo 303-B de Física I, del CCH-SUR, durante la Práctica Docente I, período del 27 de Septiembre al 6 de Octubre de 2004.

Nombre Del Alumno	Calificación
1. Arriaga Salgado Candy S.	8
2. Castro Hernández Ariana	9
3. Del Ángel Acosta Raquel	8
4. Falcón Celis Erandi	5
5. Flores Hernández J. Manuel	6
6. Galindo Villavicencio Isabel	5
7. González Soria Gabriela Darita	5
8. Gutiérrez Carmona Jamileth	5
9. Hernández Roldan Juan Antonio	5
10. Jiménez Bernal Alvaro	6
11. Luna Luna Mayra Guadalupe	5
12. Maqueda Pineda Alicia Vianey	6
13. Martínez Briones Omar Salvador	5
14. Morales Costilla Luz Maria	9
15. Obregón Pérez Alma Virginia	5
16. Ortega Galindo Mariana Alin	5
17. Pardave Muñoz Kritzia Tania	8
18. Piña Maldonado Montserrat	5
19. Poblano Palma Areli	9
20. Ramírez Bollas José Antonio	5
21. Rodríguez Ventura Mara Lilian De G.	9
22. Sánchez Morales Patsy Añadí	5
23. Tellez Foster Edgar Humberto	5
24. Vargas Hernández Miriam	9
25. Velázquez Osorno Antonio Hermilo	6

Calificaciones del grupo 424-B de Física II, del CCH, durante la Práctica Docente II, periodo del 11 al 29 de Abril de 2005.

Nombre del Alumno	Examen diagnóstico	Examen Intermedio	Examen final
1. Aragón Camarosa Selina	5	7.5	9
2. Bolaños Corona Esmeralda Nerina	4	9	9
3. Castro Moreno Liliana	4	6.5	9
4. Cid García Jacobo	2	3	7
5. Cruz Garduño Ana Cecilia	2	4.2	8
6. Durán Montes de Oca Oscar	2	5.2	7
7. Flores Grijalbo Liliana	1	4.7	7
8. González Bautista Jessica	5	7	8
9. Hernández Hernández Juan Carlos	N/P	5.3	7
10. Hernández Orozco Magadán	0	N/P	5
11. Juárez Ocegüera M.	3	3.7	7
12. Munguía Maldonado Sarai	4	5.2	7
13. Orozco Magadón Hernán	7	7	8
14. Ortiz Martínez J.	1	3	5
15. Paredes Nava C.	1	2.6	5
16. Prieto Miranda Liliana	3	8.5	9
17. Rodríguez Prado Norma	5	5	8
18. Salas Mejía Freddy	4	6	9
19. Sánchez Jechengoardo Montserrat	4	7	9
20. Santiago Benítez Maribel	4	8.7	9
21. Silva Echeveste T.	N/P	N/P	N/P
22. Urban Santillan Karen	N/P	N/P	N/P
23. Villa Hernández Eric	2	4.2	7
24. Zúñiga Galván Karla Berenice	4	6.7	9

Calificaciones del grupo 603-I, ENP-6, durante la Práctica Docente III periodo del 31 de Agosto al 1º. de Octubre 2005.

Nombre Del Alumno	Examen Diagnóstico	Examen Intermedio	Examen Final
1. Álvarez Soriana Miguel	3.2	4	5
2. Aragón Navarro J.	0	4	5
3. Arias Hernández Angélica	5	3	5
4. Beltrán Durán Fco	0	2	5
5. Cabrera Rdz. David E.	0	3	5
6. Cárcamo Sánchez Aldo	2.7	3	6
7. Coronel Ruíz Gilberto	5	3	5
8. Domínguez Gutierrez Juan Luis	4	2	5
9. Domínguez Sánchez Día	4	5	5
10. Estrada Murguía Pablo	4	2	5
11. Fajardo Cuesta Grisha	0	3	5
12. Franca Santiago Omar	4	9	9
13. Gómez Montes Efrén J.	3	0	5
14. Gutiérrez Camarena Juana K.	5	10	9
15. Jiménez Jiménez Guillermina	5	2.5	5
16. Krauss Alcaraz Johan	3.7	4	5
17. Ledesma Hernández Simón	3	8	5
18. Madariaga Cortes Pamela	0	2	5
19. Martín Arguelles Luis	5	1	5
20. Martínez López Juan	5	3	5
21. Orta García Claudia	4	7	6
22. Pérez Rueda Gabriela	3.5	6	6
23. Rodríguez Islas Delia	4	8	6
24. Vargas Mitre Salvador	0	2	5
25. Vargas Olgún J.	0	3	5
26. Vicenteño Lozada César	5	8	6

## BIBLIOGRAFÍA

1. A. diSessa, Andrea (1983). Phenomenology and the Evolution of Intuition, En Dedre, Gemtner; Stevens, Albert. (Eds.), *Mental Model*. London, Hillsdale y New Jersey: Massachusetts Institute of Technology, Lawrence Erlbaum Associated.
2. Alarcos Llorach, E. (1995). *Gramática de la lengua española (Real Academia Española, colección 'Nebrija y Bello')*. (7ª. reimpr.). Madrid, España: Espasa Calpe.
3. Alonso, Tapia Jesús. (2000). *Motivación y Aprendizaje en el Aula*. Madrid, España: Santillana, Aula XXI.
4. American Psychological Association. (2002). *Manual de estilo de publicaciones de la APA*. (Chávez M., Maricela et. al., Trads.). México: Editorial El Manual Moderno, S. A. de C. V. (Trabajo original publicado en 2001).
5. Barojas, J. (1999). Technology Efficiency Education. *Industry and Higher Education*, 13(4), 257-266.
6. Barojas, J. (2004).Teacher Training as Collaborative Problem Solving. *Educational Technology & Society*, 7(1), 21-28.
7. Barojas, J. and N. Dehesa (2001). Mathematics for Social Scientists: Learning Cycles and Teaching Strategies. *Industry and Higher Education*, 15(4), 269-277.
8. Barojas, J. and Pérez y Pérez R. (2001).Physics and Creativity: Problem Solving and Learning Contexts. *Industry and Higher Education*, 15(6), 431-439.
9. Barojas, J. and Sierra J. (2002). Teachers as architects of knowledge in e-learning. En Santana, G.A. y Uskov, V. (Eds.). *Computers and Advanced Technology in Education* (pp.186-190). Anaheim, Calgary, Zurich: ACTA Press.

10. Barojas Weber, J. (1981). *Física Moderna, Materia y Radiación*. (vol. 1). México: Colegio de Bachilleres, Sistema de Enseñanza Abierta, Editorial Limusa.
11. Beiser, A. *Física Aplicada*. (1991). México: McGraw-Hill.
12. Briscoe, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs. A case study of teacher change. *Science Education*, 72(2), 185-199.
13. Caballer, Ma. Jesús y Oñorbe, Ana. (1997). Resolución de problema y actividades de laboratorio. En Universidad de Barcelona (Eds.). *La Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza en la Educación Secundaria*. (1ª. ed.). Barcelona, España: ICE/Horsori.
14. Cabrera Valladares, Alicia. (1997). *El Aprendizaje Basado en Problemas Como Estrategia Educativa Alternativa al Modelo de Enseñanza Tradicional*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Psicología, UNAM, Distrito Federal, México: El autor.
15. Cabrera Valladares, Alicia, Martínez González, Adrián, Morales López, Sara, et. al. (2000). *Aprendizaje Basado en Problemas: Alternativa Pedagógica en la Licenciatura de la Facultad de Medicina de la UNAM*. México: Facultad de Medicina, UNAM.
16. Caillot, M. y Dumas-Carré, A. (1987). Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes en mathématiques et en physique. *Rapports de Recherches*, 12, 199-244. París.
17. Camacho, M. y Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
18. Carretero, M., Palacios, J. y A. Marchesi, (Comps.). (1985). *Psicología Evolutiva, Adolescencia, Madurez y Senectud*. (vol. 3). Madrid: Alianza.
19. Díaz Barriga, Frida. *Estrategias docentes*. (2004). México: McGraw-Hill.
20. Dumas-Carré, A. y Larcher, C. (1987). The stepping stones of learning and evaluation. *International Journal of Science Education*, 9, 93-104.
21. Eisberg, Lerner. (1983). *Física. Fundamentos y Aplicaciones*. México: Editorial McGraw-Hill.

22. Furió, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 188-199.
23. García Cortés, Fernando. (1999). *Aprendizaje y evaluación de contenidos escolares*. Madrid: Santillana.
24. Garret, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículum de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 224-230.
25. Gautreau, Ronald y Savin, William. (2001). *Física Moderna*. (2ª. ed.). México: McGraw-Hill.
26. Genyey, J. (1983). Improving student's problem-solving skills. A methodological approach for a preparatory chemistry course. *Journal Chemical Education*, 60, 478-481.
27. Gettys, W.E., Keller, F.J. y Skove M.J. (1991). *Física Clásica y Moderna*. México: McGraw-Hill.
28. Gil, D., Martínez-Torregrosa, J. y Senent, F. (1988) El fracaso en la resolución de problemas de Física: Una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 131-146.
29. Gil, D. y Pessoa, A. (1994). *Enseñanza de las ciencias y la matemática*. Madrid: Popular.
30. Gilbert, G. L. (1980). How do I get the answer? *Journal of Chemical Education*, 57, 79-81.
31. Gili Gaya, S. (1994). *Curso superior de sintaxis española* (15ª. ed.). Barcelona, España: Bibliograf.
32. Hecht, Eugene. 1997. *Fundamentos de Física*. México: Thomson Learning.
33. Hewitt, P. G. (1993). *Conceptos de Física*. México: Limusa.
34. Hewson, P.W., Beeth, M.E. y Thorley, N.R. (1998). Teaching for Conceptual Change. En B. J., Fraser y K. G., Tobin (Eds.) *International Handbook of Science Education*. Great Britain: Kluwer Academic Publishers.
35. Hewson, P.W. y Hewson, M.G. (1987). Science teachers' conceptions of teaching: implications for teachers' education. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.

36. Kaplún, Mario. (1998). *Una pedagogía de la Comunicación*. Madrid: Ediciones de la Torre.
37. Kempa, R.F. (1986). Resolución de problemas de química y estructura cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 99-110.
38. Kramers-Pals, H., Lamberchts, J. y Wolff, P. J. (1983). The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry. *European Journal of Science Education*, 5(3), pp. 275-287.
39. Litwin, Edith. (1998). La evaluación: campo de controversias y paradojas o un nuevo lugar para la buena enseñanza. En R. W. de Camilloni, A., Celman, S., Litwin, E. y Palou de Maté, M. del Carmen. *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*. (pp. 11-30). México: Paidós Mexicana, S. A.
40. Lopes, B. y Costa, N. (1996). Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 45-61.
41. Martínez González, Adrián (1997). *¿El por qué del aprendizaje de la Medicina basado en problemas?* México: Facultad de Medicina, UNAM.
42. McGill, I. and Beaty, L. (1995). *Action learning. A guide for professional, management and educational development*. London: Kogan Page.
43. Mettes, C.T.C.W., Pilot, A., Rossink, J.H. y Kramers-Pals, H. (1980a). Teaching and learning problem solving in science. Part 1: A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, 882-885.
44. Muñoz Corona, Lucia Laura, Ávila Antuna, Roberto y Ávila Ramos, Juventino. (2005). *Egreso Estudiantil del CCH*. México: Dirección General del CCH de la UNAM.
45. Muñoz Corona, Lucia Laura, Ávila Antuna, Roberto, López Gascón, Valentín, et. al. (2005). *Ingreso Estudiantil al CCH 2002-2005*. México: Dirección General del CCH de la UNAM.
46. Onrubia, Javier. (1997). *Psicología del desarrollo: El mundo del adolescente*. (vol. 8). Barcelona: ICE/Horsori.

47. Oñorbe, A. y Sánchez, J. M. (1996). Dificultades de la enseñanza-aprendizaje de los problemas de física y química. II. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 251-260.
48. Palacios, J., Marchesi, A. y Coll, César. (Comps.) (2000). *Desarrollo psicológico y educación*. (vol. 1). Madrid: Alianza.
49. Perales, F.J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 170-178.
50. Piaget J. (1969). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona: Ariel.
51. Piaget J. (1971). *Psicología y Epistemología*. Barcelona: Ariel.
52. Piaget J. (1970). *La Epistemología Genética*. Barcelona: Redondo.
53. Polya, G. (1957). *How to solve it?* Princeton: Princeton University Press.
54. Polya, G. (1965). *Cómo planear y resolver problemas*. Trillas: México.
55. Posner, G., Strike K., Hewson P. and Gertzog W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 11-227.
56. Powell, Marvin. (1999). *La Psicología de la Adolescencia*. México: Fondo de Cultura Económica.
57. Pozo J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
58. Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
59. Pozo, J. I. y Scheuer, N. (1999) Las concepciones sobre el aprendizaje como teorías implícitas. En Pozo, J. I y C. Monerero (Coord.). *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Santillana.
60. Pozo, Juan I., Postigo, Yolanda y Gómez, Miguel A. (1995). Aprendizaje de estrategias para la solución de problemas en ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 5, 16-26.
61. Pozo, Juan Ignacio. (1996). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, dónde van... y mientras tanto que hacemos con ellas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 7, 18-26.
62. Ramírez Castro, Juan L., Gil Pérez, Daniel y Martínez Torregrosa, Joaquín. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como*

- investigación*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, CIDE.
63. Ranicich, Ana María. (1995). Razonamiento Médico: Factores y Condiciones de la Resolución de Problemas como Estrategia de Enseñanza-Aprendizaje. *Educ. Med. Salud*. 29(3), 3-4.
64. Resnick, Robert. (1972). *Basic Concepts in Relativity and Early Quantum Theory*. USA: John Wiley and Sons Inc.
65. Revans, R. (1982). What is action learning? *Journal Of Management Development*. 1(3), 64 - 75.
66. Reyes Coria, B. (1986). *Manual de estilo editorial*. México: Limusa.
67. Rice, P. (1999). *Adolescencia Desarrollo, Relaciones y Cultura*. México: Prentice Hall.
68. Sánchez Sánchez, Jorge. (1980). *Física moderna: física molecular y estado sólido*. México: Limusa.
69. Santrock, J.W. (2002). *Psicología de la educación*. México: McGraw Hill.
70. Sears, Francis W., Zemansky, Mark W., Young, Hugh D. y Freedman, Roger A. (2004). *Física Universitaria*. (vol. 2). México: Pearson Educación.
71. Selvaratnman, M. (1983). Student's mistakes in problem solving. *Education in Chemistry*, 125-128.
72. Servin Hernandez, David. (2001). *Estrategias de aprendizaje basado en problemas o enseñanza tradicional: evaluación del desempeño de los alumnos en el laboratorio de Farmacología*. Facultad de Medicina, UNAM, Mexico: El autor.
73. Serway, R. (1992). *Física*. México: Editorial McGraw-Hill.
74. Shuell, T. J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*. 71(2), 239-250.
75. Tipler, P. A. (1994). *Física*. (vol. 2). Barcelona: Editorial Reverté.
76. Torres Labansat, Manuel. (1981). *Física Moderna, Relatividad*. México: Limusa.

77. Unidad Académica del Ciclo Bachillerato. (1996). *Plan de Estudios Actualizado*. México: DGCCH, UNAM.
78. Unidad Académica del Ciclo Bachillerato. (2003). *Programas de Física I y II*. México: Ciencias Experimentales CCH, DGCCH, UNAM.
79. Valle, Rosamaria, Petra, Ileana, Martínez-González, Adrián, Rojas-Ramírez, José Antonio, Morales-López, Sara and Piña-Garza, Beatriz. (1999). Assessment of student performance in problem-based learning tutorial sessions. *Blackwell Science Ltd. Medical Education*. 33, 818-822.
80. Vernon, D. T. and Blake R.L. (1993). Does problem-based learning work? A metaanalysis of evaluative research. *Acad. Med.* 68, 550-563.
81. Walton H.J. and Mathews M.B. (1989). Essentials of Problem-Based Learning. *Medical Education*. 23, 542-58.
82. Watts, M. (1991). *The science of problem-solving. A practical guide for science teachers*. Londres: Cassell.
83. White, H. E. (1990). *Física Moderna*. México: UTEHA.
84. Zitzewitz, Paul. (2002). *Física 1, "Principios y problemas"*. México: McGraw-Hill.
85. Woods, D. (1985). What about problem-based learning? *Journal of College Science Teaching*, 15(1), 62-64.