



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR

ENSEÑANZA DE LOS PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA EN LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR (FÍSICA)

PRESENTA:
MIGUEL CUAUHTLI MARTÍNEZ GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. JORGE RAFAEL BAROJAS WEBER
Facultad de Ciencias

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
Dr. Mirna Villavicencio Torres
Facultad de Ciencias

Dr. María del Pilar Segarra Alberú
Facultad de Ciencias



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

A Amaury, que siempre me acompaña.

A mi familia y amigos, por su inspiración para seguir adelante.

Al Dr. Jorge Barojas, por ser un guía esencial en este trabajo.

A la Dra. Mirna Villavicencio, por su constante apoyo durante la maestría.

A la Dra. Pilar Segarra, por su paciencia.

A la Dra. Kira Padilla y a la Mtra. Virgen Huerta, por ayudarme a que este proyecto llegara a un buen fin.

ÍNDICE GENERAL

Introducción General.....	7
CAPÍTULO 1. La necesidad de cambio en la Educación Media Superior.....	11
1.0 Introducción.....	11
1.1 La EMS de México en el mundo.....	11
1.2 Una ética profesional analógica para el docente de Ciencias.....	17
1.3 La resiliencia educativa, un vínculo entre las virtudes de fortaleza y prudencia.....	18
1.4 Conclusión.....	21
CAPÍTULO 2. Fundamentos Teóricos.....	23
2.0 Introducción.....	23
2.1 Primer nivel, el constructivismo en la enseñanza de las Ciencias.....	27
2.2 Segundo nivel, modelos didácticos.....	30
2.2.1 El modelo de exposición-discusión.....	31
2.2.2 El modelo inductivo.....	31
2.3 Tercer nivel, principios pedagógicos para la enseñanza de las Ciencias.....	33
2.3.1 El portafolio de evidencias.....	36
2.4 Cuarto nivel, comunidades de aprendizaje.....	38
2.5 Conclusiones.....	41
CAPÍTULO 3. La enseñanza de los principios de la mecánica cuántica.....	49
3.0 Introducción ¿Por qué enseñar mecánica cuántica?.....	49
3.1 Un lugar para la mecánica cuántica.....	51
3.2 La mecánica cuántica y la mecánica continua (no cuantizada).....	53
3.2.1 Estados cuantizados (la escalera y la rampa).....	55
3.2.2 La probabilidad asociada (Dios sí juega a los dados).....	57
3.2.3 El cuanto del sistema (de los gotones hacia los fotones).....	62
3.3 Conclusiones.....	70

Capítulo 4. Resultados de la implementación de la estrategia didáctica.....	75
4.0 Introducción.....	75
4.1 Resultados Disciplinarios.....	80
4.2 Resultados Pedagógicos.....	96
4.2.1 Resultados Pedagógicos del Docente.....	96
4.2.2 Resultados Pedagógicos de los Alumnos.....	98
4.3 Resultados Resilientes.....	100
4.3.1 Resultados Resilientes del Docente.....	100
4.3.2 Resultados Resilientes de los Alumnos.....	102
4.4 Conclusión.....	104
Capítulo 5. Conclusiones Generales y Trabajo a Futuro.....	109
Bibliografía.....	113
ANEXOS.....	121
A1. SESIONES DE ENSEÑANZA 1-8.....	121
A2. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN.....	199
A3. EJEMPLOS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS.....	210
A4. EL DETECTOR DE GOTONES, UNA ANALOGÍA PARA LA COMPRESIÓN DEL CONCEPTO DE FOTÓN.....	221
A5. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CONSTANTE DE PLANCK.....	224
A6. CARTELES.....	230
A7. PORTAFOLIOS DE EVIDENCIAS.....	233

Introducción General

Para los profesores y estudiantes del nivel medio superior, se considera que la enseñanza y el aprendizaje, respectivamente, de los temas correspondientes a la mecánica cuántica tienen un alto grado de dificultad ya que exigen un gran nivel de abstracción por parte de los alumnos y su desarrollo necesita de herramientas matemáticas complicadas (Serway y Jewett, 2003; Jones, 1991). Además, para la enseñanza de la mecánica cuántica, en la mayoría de los libros de texto y cursos (Serway y Jewett, 2003; Michelini, 2012; UNAM, 1996), por lo general se emplea un enfoque histórico que inicia con el problema de la radiación del cuerpo negro, para luego discutir el efecto fotoeléctrico y mediante la introducción de varios modelos del átomo (Ireson, 2000), dirigir al alumno hacia el "comportamiento extraño" de la mecánica cuántica discutido a través del principio de incertidumbre y la "Dualidad onda-partícula". Generalmente se hace un gran énfasis en la idea de que la cuántica es extraña y no puede ser realmente entendida (Giliberti y Lanz, 2003). Y a pesar de que la mecánica cuántica forma parte del temario correspondiente a la asignatura de Física en la Educación Media Superior (UNAM, 1996), persiste la creencia, sobre todo cuando el docente que imparte la asignatura no es del área de Física, que ésta sólo es válida en el mundo microscópico. La idea de que la mecánica cuántica sólo es válida en el mundo microscópico lleva a pensar que esta área de la Física está muy alejada de nuestra vida cotidiana, por lo que carece de sentido su enseñanza en dicho nivel académico. En esta propuesta de intervención (tesis MADEMS), se aborda la problemática de la enseñanza de la mecánica cuántica en la Educación Media Superior (EMS) mediante el diseño de una estrategia didáctica que toma un camino alternativo al histórico. Aunque, si el docente tiene alguna predilección particular por el enfoque histórico, esta propuesta tiene la versatilidad suficiente para ser utilizada como un complemento que permita a los alumnos comprender los conceptos "abstractos" de la mecánica cuántica, sin dejar de lado su necesidad de ejemplos cercanos a su experiencia cotidiana.

En este trabajo se contempla como una prioridad el uso de analogías claras con elementos concretos que faciliten la comprensión y tengan una mayor posibilidad de lograr la reorganización del entendimiento de los estudiantes (Garritz y Trinidad, 2004).

Aunado al grado de dificultad inherente a la mecánica cuántica, se tiene que considerar como condición adicional para su enseñanza, que los estudiantes de nuestro país tienen un desempeño preocupante en el área de ciencias tal y como lo muestran resultados obtenidos en el Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés). Por este motivo en el **capítulo 1** se analiza la situación particular del bachillerato mexicano y se plantea un proceso resiliente para atender la situación en la que se encuentran los estudiantes mexicanos. En este primer capítulo se analiza detalladamente el concepto de resiliencia educativa, las importantes consecuencias que tiene en el desarrollo de un individuo y cómo un docente de ciencias puede convertirse en un promotor de la resiliencia educativa por medio de un modelo concreto denominado BMH-enriquecido (Martínez y Barojas, 2012), cuya finalidad es apoyar a los alumnos en la solución de los conflictos cognitivos, psicológicos y sociales que se presentan durante el aprendizaje de un tema del área de ciencias (que en este caso particular corresponde a los principios de la mecánica cuántica). Una vez que se conoce el contexto del bachillerato mexicano y la preocupante situación en que se encuentran sus estudiantes, en el **capítulo 2** se presenta el marco teórico que sustenta esta propuesta de intervención. Para hacer de esta propuesta de tesis una valiosa contribución que ayude a mejorar la situación de la EMS, su estructura teórica se inscribe dentro de la teoría constructivista. Específicamente, se hace uso de dos modelos didácticos (modelo de exposición-discusión y modelo inductivo), que por sus características particulares se complementan mutuamente y permiten implementar una enseñanza que atiende las necesidades de los alumnos estableciendo condiciones para la experimentación y la discusión de ideas entre pares. Además, este marco teórico tiene la virtud de crear un vínculo entre los modelos didácticos y los principios pedagógicos para la enseñanza de las ciencias (Linn y Hsi, 2000), mismos que pueden utilizarse como piedra angular para establecer una comunidad de aprendizaje entre los estudiantes (Barojas, 2004) mediante la definición de directrices claras denominadas criterios de operación.

Para salvaguardar la congruencia entre los primeros dos capítulos, al finalizar el capítulo 2 se muestra cómo los criterios de operación permiten conectar el desarrollo de una comunidad de aprendizaje con el desarrollo de la resiliencia educativa.

En el **capítulo 3** se presenta a detalle una estrategia didáctica que plantea un camino alternativo para la enseñanza de los principios de la mecánica cuántica en el bachillerato. Estos principios involucran reconocer el concepto de cuantización, identificar los estados accesibles de un sistema cuántico y establecer la asociación entre probabilidad y estados cuantizados. En la estrategia didáctica desarrollada en el tercer capítulo, los estudiantes parten de situaciones relacionadas con sistemas cercanos a su vida cotidiana, en los que aparece la idea de cuantización y que pueden utilizarse como analogías a los sistemas cuánticos, para dirigirse hacia situaciones cada vez más abstractas, abordando de forma particular dos sistemas cuánticos formales. Es decir, esta estrategia permite al estudiante aprender a identificar los principales elementos que constituyen un sistema cuántico y aplicarlos en algunas analogías cuánticas de su vida cotidiana. Incluso logran reconocer dos sistemas cuánticos formales que son ampliamente aceptados por la comunidad científica: el láser y el modelo cuántico atómico. Aplicar los principios de la mecánica cuántica en situaciones conocidas (i.e. que resultan familiares a los alumnos) recupera el carácter experimental de esta rama de la Física, y permite establecer que la mecánica cuántica no se restringe únicamente a fenómenos de índole microscópico, sino que este formalismo es válido para describir todos los sistemas cuánticos (tanto macroscópicos como microscópicos).

En el **capítulo 4** se presentan las consecuencias de enseñar mecánica cuántica mediante analogías. Se documentan los resultados obtenidos por alumnos del bachillerato mexicano, demostrando que se han detectado avances. Antes de las sesiones de enseñanza los alumnos no reconocen ningún sistema cuántico (formal o análogo) y al finalizar la octava sesión un porcentaje importante puede realizar la espectroscopía cualitativa de una lámpara de descarga del alumbrado público, logran identificar el gas contenido en la lámpara e inferir los niveles energéticos que justifican su espectro de emisión.

Por último, en el **capítulo 5** se presentan las conclusiones generales de este trabajo, a su vez se muestran algunas de las consecuencias más importantes de su implementación. En dicho capítulo, también se señalan las limitaciones encontradas al realizar este trabajo, así como sus posibilidades de extensión y profundización que podrán desarrollarse en proyectos posteriores.

CAPÍTULO 1

La necesidad de cambio en la Educación Media Superior

1.0 Introducción

Conocer el contexto de una situación en la cual se pretende intervenir, más que una ventaja, resulta una condición necesaria para que dicha intervención sea relevante. Por otra parte, una segunda condición de una intervención, a la cual se le pueda dar el adjetivo de “adecuada”, sería que esté fundamentada con referentes teóricos importantes que lejos de pretender redescubrir “el hilo negro” para lograr una teoría única y definitiva, en cambio busquen generar la sinergia que permita realizar una acción reflexiva y crítica. Así, una intervención puede ser denominada como pertinente cuando está acorde al contexto (característica “relevante”) y además se sustenta en referentes teóricos que brinden la sinergia necesaria para acciones transformadoras (característica “adecuada”). La situación en que pretende intervenir este trabajo es la Educación Media Superior (EMS) de nuestro país. Y para satisfacer la primera condición, necesaria para la pertinencia de un trabajo de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS), se tiene que conocer el contexto constituido por la EMS en México.

1.1 La EMS de México en el mundo

Históricamente la normatividad del bachillerato mexicano se ha centrado principalmente en aumentar la matrícula escolar. Por ejemplo, en este ámbito, entre 1950 y 1980, la matrícula de la EMS se multiplicó por un factor de setenta y nueve (Zorrilla, 2008). Y aunque es evidente la necesidad de brindar el espacio necesario para que los jóvenes mexicanos ingresen a la EMS también resulta prioritaria la necesidad de superar una educación pensada sólo para una minoría y adoptar un modelo dirigido a la totalidad de la ciudadanía (Zabala, 2013).

A continuación, se presenta el contexto de la EMS en México desde la óptica de tres aspectos que considero fundamentales por el impacto que tienen en la sociedad. Estos aspectos son: la calidad, la equidad y la eficiencia terminal.

La calidad de la EMS no se ha incrementado de la misma forma como lo ha hecho su matrícula. Evaluaciones internacionales como el Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés), mide los desempeños de lectura, matemáticas y ciencias en jóvenes de 15 años tres meses a 16 años dos meses (INEE) que viven en los países miembros de la Organización para Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), demuestran que los estudiantes mexicanos tienen grandes deficiencias en su educación. Según el informe PISA (2003), en los tres rubros evaluados México ocupó el penúltimo lugar (Zorrilla, 2008). Y en una aplicación posterior, efectuada en el año 2006, México ocupó el lugar 30 en el área de ciencias, ya que el 33% de los alumnos evaluados fueron clasificados dentro del primer nivel (Díaz-Barriga, 2011). Esto quiere decir que dichos estudiantes tienen un conocimiento científico muy limitado y lo pueden aplicar a unas pocas situaciones que les resultan familiares. Por lo tanto, los estudiantes mexicanos, pese a tener una calificación de aprobado (o incluso superior) en materias afines a las competencias científicas, al ser evaluados con una métrica internacional demuestran tener un retraso importante con respecto de otros estudiantes que cursan la EMS en otros países de la OCDE. Esta tendencia negativa continua como lo muestra la tabla 1, donde se presenta un resumen con las características principales de cada nivel y los resultados correspondientes al informe PISA 2009 (INEE, 2010). Cabe señalar que esta evaluación (PISA) dista bastante de una evaluación tradicional, caracterizada principalmente por la memorización, pues PISA busca medir la capacidad en conocimientos y habilidades de los alumnos, referidos a situaciones de la vida cotidiana (Díaz-Barriga, 2011). En el área de ciencias esta evaluación agrupa a los alumnos en 6 niveles (ver tabla 1), los cuales están jerarquizados de forma ascendente de acuerdo con sus capacidades vinculadas con el área de ciencias. Además, se admite un nivel inferior al nivel 1, denominado “nivel cero”, en el que se sitúa a los estudiantes que son incapaces de realizar el tipo de tarea más básico que busca medir dicha prueba (PISA).

Tabla 1. Descripción de los niveles PISA. En la segunda columna se incluye el porcentaje de estudiantes que se ubican en cada nivel PISA en México, América Latina (AL) y los países que conforman la OCDE (INEE, 2010).

Nivel	Porcentaje	Características
0	OCDE: 4.9 AL: 21.7 México: 14.5	Los estudiantes tienen un conocimiento científico insuficiente para responder congruentemente las evaluaciones.
1	OCDE: 13.0 AL: 30.4 México: 32.8	Los estudiantes tienen un conocimiento científico tan limitado que sólo puede ser aplicado a unas pocas situaciones familiares. Dan explicaciones científicas obvias que se derivan explícitamente de las evidencias dadas.
2	OCDE: 24.4 AL: 28.6 México: 33.6	Los alumnos tienen un conocimiento científico adecuado para aportar posibles explicaciones en contextos familiares o para llegar a conclusiones basadas en investigaciones simples. Pueden razonar de manera directa y realizar interpretaciones literales de los resultados de una investigación científica o de la solución de problemas tecnológicos.
3	OCDE: 28.6 AL: 14.7 México: 15.8	Los estudiantes pueden identificar temas científicos descritos claramente en diversos contextos, seleccionar hechos y conocimientos para explicar fenómenos, y aplicar modelos simples o estrategias de investigación. Interpretan y usan conceptos científicos de distintas disciplinas y los pueden aplicar directamente. Son capaces de elaborar exposiciones breves utilizando información objetiva y de tomar decisiones en el contexto científico.
4	OCDE: 20.6 AL: 4.1 México: 3.1	Los alumnos trabajan de manera eficaz con situaciones y temas que pueden implicar fenómenos explícitos que les requieran deducciones sobre el papel de la ciencia y la tecnología. Seleccionan e integran explicaciones de distintas disciplinas de la ciencia y la tecnología, y las pueden relacionar directamente con situaciones de la vida real. Son capaces de reflexionar sobre sus acciones y de comunicar sus decisiones mediante el uso del conocimiento científico y de evidencias.
5	OCDE: 7.4 AL: 0.5 México: 0.2	Los estudiantes pueden identificar los componentes científicos de muchas situaciones complejas de la vida real, aplican tanto conceptos científicos como conocimiento sobre la ciencia a estas situaciones, y pueden comparar, seleccionar y evaluar las pruebas científicas adecuadas para responder a situaciones de la vida real. Pueden usar capacidades de investigación bien desarrolladas, relacionar el conocimiento de manera adecuada y aportar una comprensión crítica de las situaciones. Elaboran explicaciones basadas en evidencias y argumentos con base en su análisis crítico.
6	OCDE: 1.1 AL: 0.0 México: 0.0	Los estudiantes pueden identificar, explicar y aplicar el conocimiento científico y conocimiento sobre la ciencia de manera consistente en diversas situaciones de la vida real. Relacionan distintas fuentes de información y explicación, y utilizan evidencias provenientes de estas fuentes para justificar sus decisiones. Son capaces de demostrar clara y consistentemente un pensamiento y un razonamiento científico avanzado; y demuestran disposición para usar su comprensión científica en la solución de situaciones científicas y tecnológicas inusuales. Utilizan el conocimiento científico y desarrollan argumentos que sustentan recomendaciones y decisiones centradas en contextos personales, sociales o globales.

El bajo nivel académico incide directamente en la igualdad social, pues la mala calidad formativa no solamente restringe las posibilidades que un alumno tiene para concluir sus estudios, sino que también frustra su desarrollo como adulto en la sociedad contemporánea (INEE, 2011). La acreditación del alumno no implica que necesariamente cuenta con las habilidades que le serán indispensables para desenvolverse tanto en el ambiente académico de la Educación Superior como en la sociedad contemporánea que exige de él una serie de capacidades más allá de la memorización. Al limitar las posibilidades de los estudiantes, la falta de calidad contribuye a la desigualdad social que existe en nuestro país contraviniendo de esta manera uno de los objetivos que la educación tiene en sí misma; el de perpetuar y reforzar la homogeneidad necesaria para que la sociedad pueda subsistir (Durkheim, 1996).

El aspecto final que analizaremos, que tiene una profunda implicación social, es la eficiencia terminal. Como ya se mencionó con anterioridad, históricamente la “política educativa” tiene, al parecer, como único objetivo concreto el aumento en la matrícula. Sin embargo, este ideal no es exclusivo de EMS sino que es transversal en todos los niveles de la educación básica; preescolar, primaria y secundaria. El clímax de este ideal se alcanza al señalar que la matrícula de la EMS ha crecido a un ritmo suficiente, en los últimos años, para cubrir casi la totalidad de egresados de secundaria que demandan el servicio al término de cada ciclo escolar (Orduña, 2014). Por otra parte, en cuanto a la eficiencia terminal se debe reconocer que en los niveles básicos es relativamente alta, siendo del 86% en la primaria y 76% en la secundaria (Zorrilla, 2008). Con estos datos, pareciera que el sistema educativo funciona con una eficiencia terminal muy aceptable. Pero este porcentaje de eficiencia desciende significativamente cuando se habla de la EMS, alcanzando apenas el 59.8% (Zorrilla, 2008). Y desciende aún más en el caso de la Enseñanza Superior (ES) donde solamente la séptima u octava parte de los alumnos que entraron a primaria consiguen graduarse (Zorrilla, 2008). La explicación de este abrumador descenso en la eficiencia terminal puede atribuirse a varios factores, tanto internos como externos al sistema educativo. La respuesta del bachillerato mexicano ante esta situación, consiste en lograr establecer un sistema de enseñanza media superior, que brinde una educación de calidad orientada al desarrollo de

competencias, Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS) (SEP, 2008). En las tablas 2 y 3, se presentan las Competencias Genéricas (CG1-CG11) y las Competencias Disciplinarias Básicas de las ciencias experimentales (CDB1-CDB14) para el bachillerato mexicano de acuerdo a la RIEMS (SEP, 2008).

Esta política deja atrás el aumento indiscriminado de la matrícula para ponderar la calidad de la educación, lo cual conlleva a que el estudiante desarrolle las capacidades necesarias para continuar satisfactoriamente sus estudios en la EMS y en la ES (Orduña, 2014).

Tabla 2. Competencias genéricas CG para la EMS según la RIEMS (SEP, 2008).

Competencia Genérica	Descripción
CG1	Se conoce y valora a sí mismo y aborda problemas y retos teniendo en cuenta los objetivos que persigue.
CG2	Es sensible al arte y participa en la apreciación e interpretación de sus expresiones en distintos géneros.
CG3	Elige y practica estilos de vida saludables.
CG4	Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados.
CG5	Desarrolla innovaciones y propone soluciones a problemas a partir de métodos establecidos.
CG6	Sustenta una postura personal sobre temas de interés y relevancia general, considerando otros puntos de vista de manera crítica y reflexiva.
CG7	Aprende por iniciativa e interés propio a lo largo de la vida.
CG8	Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos.
CG9	Participa con una conciencia cívica y ética en la vida de su comunidad, región, México y el mundo.
CG10	Mantiene una actitud respetuosa hacia la interculturalidad y la diversidad de creencias, valores, ideas y prácticas sociales.
CG11	Contribuye al desarrollo sustentable de manera crítica, con acciones responsables.

Tabla 3. Competencias Disciplinarias Básicas (CDB) señaladas en la RIEMS (SEP, 2008)

Competencias disciplinarias básica de las ciencias experimentales	Descripción
CDB1	Establece la interrelación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente en contextos históricos y sociales específicos.
CDB2	Fundamenta opiniones sobre los impactos de la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana, asumiendo consideraciones éticas.
CDB3	Identifica problemas, formula preguntas de carácter científico y plantea las hipótesis necesarias para responderlas.
CDB4	Obtiene, registra y sistematiza la información para responder a preguntas de carácter científico, consultando fuentes relevantes y realizando experimentos pertinentes.
CDB5	Contrasta los resultados obtenidos en una investigación o experimento con hipótesis previas y comunica sus conclusiones.
CDB6	Valora las preconcepciones personales o comunes sobre diversos fenómenos naturales a partir de evidencias científicas.
CDB7	Hace explícitas las nociones científicas que sustentan los procesos para la solución de problemas cotidianos.
CDB8	Explica el funcionamiento de máquinas de uso común a partir de nociones científicas.
CDB9	Diseña modelos o prototipos para resolver problemas, satisfacer necesidades o demostrar principios científicos.
CDB10	Relaciona las expresiones simbólicas de un fenómeno de la naturaleza y los rasgos observables a simple vista o mediante instrumentos o modelos científicos.
CDB11	Analiza las leyes generales que rigen el funcionamiento del medio físico y valora las acciones humanas de impacto ambiental.
CDB12	Decide sobre el cuidado de su salud a partir del conocimiento de su cuerpo, sus procesos vitales y el entorno al que pertenece.
CDB13	Relaciona los niveles de organización química, biológica, física y ecológica de los sistemas vivos.
CDB14	Aplica normas de seguridad en el manejo de sustancias, instrumentos y equipo en la realización de actividades de su vida cotidiana.

Una vez planteado el contexto en el que se desarrolla la EMS en nuestro país, es evidente que resulta necesario intervenir para mejorar la situación. Por mi parte, esta intervención se cristaliza en este trabajo de tesis MADEMS titulado “Enseñanza de los Principios de la

mecánica cuántica en la Educación Media Superior”. Pero, el objetivo de este trabajo está muy lejos de pretender ser una “reforma educativa” en cuanto al contenido de los temarios en la EMS en el área de Física. Este trabajo de tesis lo que pretende es fomentar mediante el ejercicio docente la “alfabetización de los alumnos en ciencias y tecnología” (Zorrilla, 2008), en congruencia con las capacidades señaladas en la RIEMS (ver apartado 4.4 Conclusión, en el capítulo 4).

Sin embargo, cabe señalar que si el docente de ciencias únicamente se asume como un promotor del pensamiento científico, su laborar como profesional sería mediocre (i.e. a medias). La ciencia y la tecnología, que es la expresión práctica de la ciencia, pueden ser benéficas para la vida de una sociedad o pueden resultar contraproducentes para la misma. Resulta erróneo considerar que la ciencia genera únicamente consecuencias positivas para la sociedad; no son pocos los ejemplos en los que la ciencia ha causado graves consecuencias negativas tanto en el entorno social como en el natural. Por lo tanto, el docente de ciencias necesita asumir otros elementos para cumplir con la ética profesional, que, en su forma más general, le encomienda contribuir a la mejora y bienestar de su comunidad (Díaz-Barriga, 2011). Es decir, ser promotor del pensamiento científico no es suficiente para que un profesional de la docencia se desempeñe con calidad ética, independientemente de que cumpla con planes y programas de estudio correspondientes al nivel de enseñanza en que labore.

1.2 Una ética profesional analógica para el docente de Ciencias

Una ética profesional tendría entre sus funciones la de señalar el camino que debe recorrer el ser humano en el contexto de su quehacer profesional. Aquí nos interesa referir esta ética profesional al contexto educativo y ver a la tarea del docente desde la perspectiva señalada por Bertrand Russell: *“Los educadores, más que cualquier otra clase de profesionales, son los guardianes de la civilización”* (Gándara, 2014). Al cumplir con esta misión, el docente no sólo debe resolver sus problemas de subsistencia y de desarrollo personal, sino también contribuir en la solución de los problemas sociales de su propia comunidad. Se trata de definir directrices específicas para que los docentes funcionen efectivamente como

guardianes de la civilización y no se limiten a cumplir burocráticamente con tareas de transmisores acrílicos de información.

De acuerdo con Beuchot (2004), una ética basada en las virtudes considera que éstas son los causas mediante los cuales el ser humano cumple su intencionalidad de hacer el bien; son los medios que permiten que esa intención se realice de la mejor manera posible. Este autor propone una ética basada en las virtudes que se fundamenta en su carácter analógico; es decir en la proporción, no necesariamente en igual medida, entre dos o más virtudes. Dicha proporción habrá de darse entre las acciones de los individuos y la armonía con la que éstos se desenvuelven, tanto en su vida personal como en su contexto social. En particular, se refiere al ejercicio de las virtudes cardinales (prudencia, templanza, justicia y fortaleza), como fundamentales (cardinales) para posibilitar y orientar la conducta del ser humano y permitirle trascender su propia unidad, así como reconocer al otro mediante el desarrollo práctico de la capacidad para contribuir a una mejor convivencia social. Es en este escenario fraterno en donde tiene continuidad la cultura, tarea en la cual son fundamentales los guardianes de la civilización a los que alude Russell.

Según María Moliner (1992) las cuatro virtudes cardinales corresponden a lo siguiente: prudencia (moderación en el comportamiento para acomodarlo a lo que es sensato, discreto o exento de peligro), templanza (moderarse en los placeres de los sentidos), justicia (reprimir y castigar los delitos y dirimir las diferencias entre los ciudadanos de acuerdo con la ley y el derecho) y fortaleza (capacidad para resistir, para sobrellevar sufrimientos y penalidades). En particular son las virtudes de fortaleza y prudencia, las que procuran el cuidado del individuo mediante un proceso resiliente.

1.3 La resiliencia educativa, un vínculo entre las virtudes de fortaleza y prudencia

Desde hace cuatro décadas, se ha estudiado en psicología la capacidad que tiene el ser humano para superar las adversidades que se le presentan en la vida, habiéndose constatado que no todas las personas sometidas a situaciones similares de riesgo sufren de igual manera y que algunas al superar dichas situaciones surgen fortalecidas (Monroy y Palacios, 2011). A este fenómeno se le llamó resiliencia (Acevedo y Mondragón, 2005): la

capacidad del ser humano para hacer frente a las adversidades de la vida, superarlas y ser transformado positivamente, con lo cual cambia el concepto de sí mismo, las prioridades y la forma de pensar tanto al presente como hacia otras personas (González, 2009). En este sentido, la resiliencia comprende manifestaciones concretas de dos de las virtudes cardinales: la fortaleza, como fuerza para persistir y resistir la adversidad, y la prudencia, como habilidad de encontrar la forma de actuar para alcanzar algún fin (Beuchot, 2004).

Las investigaciones acerca de la resiliencia han demostrado que algunos adolescentes superan mejor la adversidad que otros sin dejar un daño permanente, y por lo tanto tienen un mejor desempeño cuando se convierten en adultos. Esta modalidad de resiliencia (denominada “resiliencia educativa”) se enfoca en el rendimiento académico y el desarrollo social de los alumnos, y se refiere a *“la capacidad de recuperarse, sobreponerse y adaptarse con éxito frente a la adversidad y desarrollar competencia social, académica y vocacional pese a estar expuesto a un estrés grave o simplemente a las tensiones inherentes al mundo de hoy”* (Acevedo y Mondragón, 2005).

La definición de resiliencia educativa, aunque necesaria resulta insuficiente, se requiere de una metodología que permita a los estudiantes lograr un desarrollo resiliente. Por lo cual se propone implementar el modelo de Benard (1993), Henderson y Milstein (1996) (BHM por las iniciales de sus autores), combinado con la propuesta que hacen Brickart y Wolin (1997) desde la perspectiva de un educador y una psicóloga, así como el trabajo de mediación resiliente realizado por Palacios (2015). Este modelo BMH enriquecido conserva la estructura original de Bernard *et al.* y consta de los siguientes seis pilares que contribuyen a la construcción de la resiliencia educativa (Martínez y Barojas, 2012), ver tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los seis pilares de la resiliencia educativa (Martínez y Barojas, 2012).

Pilar de la Resiliencia	Descripción
PR1. Enriquecimiento de vínculos	Desarrollar habilidades para hacer y mantener relaciones satisfactorias con otros individuos.
PR2. Establecimiento de límites claros y firmes.	Se refiere a la existencia de pautas de comportamiento que sean claras y que promuevan la cooperación, el respaldo y el sentimiento de pertenencia entre los estudiantes.
PR3. Enseñanza de habilidades para la vida	Promover el pensamiento crítico y la resolución de problemas académicos o sociales. Es decir, que los alumnos desarrollen los mecanismos que les permitan validar información y presentar sus ideas, para establecer un diálogo enriquecedor que modifique o complemente su comprensión.
PR4. Brindar apoyo y afecto	Generar las condiciones necesarias para que los alumnos se sientan conectados dentro del salón de clase y que forman parte de una comunidad.
PR5. Establecer y comunicar expectativas elevadas	Involucrar a los alumnos en la evaluación de su propio trabajo y en establecer metas para sí mismos. Es decir, fomentar que los estudiantes reflexionen acerca de lo que conocen y puedan fijar metas plausibles que den cuenta del desarrollo de sus capacidades.
PR6. Brindar oportunidades de participación significativa	Ofrecer a los alumnos oportunidades para tomar decisiones y generar alternativas que conlleven a mejorar su proceso de aprendizaje o lograr una mejor comprensión.

1.4 Conclusión

Para responder de forma proactiva ante la preocupante situación del bachillerato mexicano se propone una ética analógica para el docente de Ciencias de la EMS. Dicha propuesta es integral, y reconoce que el docente se enfoca en el cuidado de tres aspectos: el cuidado de la disciplina (Ciencias), el cuidado de sus alumnos y el cuidado de la sociedad a la que pertenece (ver figura 1).

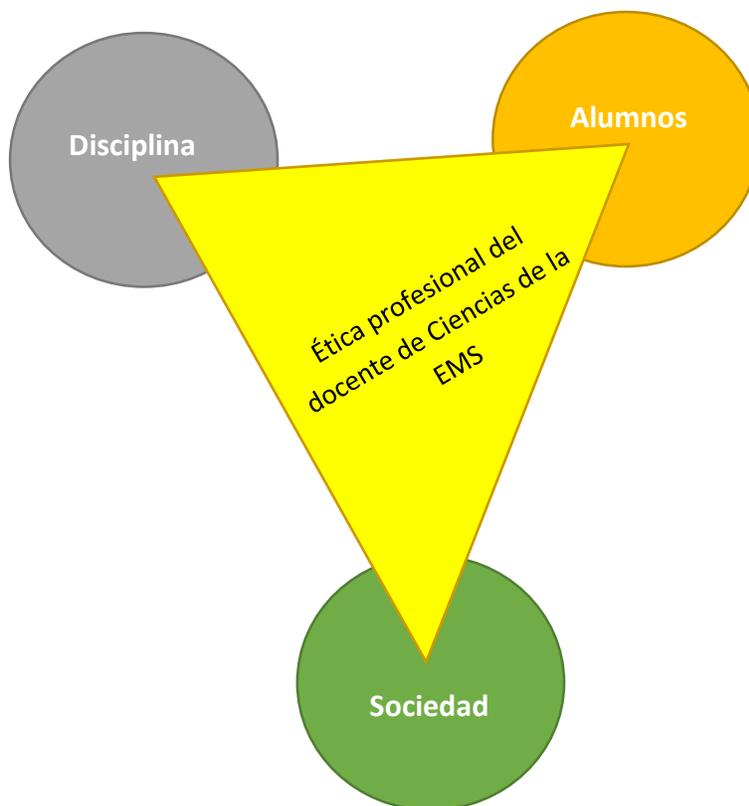


Figura 1. Diagrama de la ética profesional y los aspectos que le competen.

Mediante la interacción, i.e. la proporción, entre estos tres aspectos esta ética profesional busca señalar un camino que posibilite la educación para la virtud, en el entendido de que ésta implica atender a la inteligencia y a la razón como también a la voluntad y los sentimientos (Beuchot, 2004).

Explícitamente, el docente asume su compromiso con cada elemento, con una enseñanza que enfatiza las virtudes, que desarrolla la resiliencia educativa en los alumnos y fomenta el pensamiento científico (ver figura 2).



Figura 2. Diagrama de la ética profesional y los elementos que le competen.

El aspecto social queda satisfecho a través de las virtudes cardinales ya que estas permiten la convivencia en sociedad. El cuidado de los alumnos se implementa mediante el desarrollo de la resiliencia educativa ya que ésta corresponde a la capacidad de adaptarse con éxito frente a la adversidad. Por último, el cuidado de la disciplina se satisface con el desarrollo de las capacidades científicas de los alumnos, para conseguir este objetivo, desde un punto de vista constructivista en el CAPÍTULO 2 se desarrolla una estructura teórica que posteriormente es aplicada a la enseñanza de los principios de la mecánica cuántica (ver anexo 1).

CAPÍTULO 2

Fundamentos Teóricos

*“No hay nada tan práctico como una buena teoría,
si bien hay que tener la práctica de saber
qué teoría hay que escoger”*

H. Poincaré (Mallart, 2001)

2.0 Introducción

Al comparar los resultados obtenidos por los alumnos del bachillerato mexicano con los alumnos de otros países (ver capítulo 1) es evidente la urgencia de una intervención en el área de ciencias con la finalidad de que los alumnos desarrollen un pensamiento científico complejo que vaya más allá de la simple memorización de datos aislados, que muchas veces (para ellos) carecen de significado (Pozo y Gómez, 2001). Para lograr este objetivo se ha de considerar a los contenidos escolares (señalados en los temarios) no como un fin en sí mismos, sino como un medio para desarrollar las capacidades, conocimientos, habilidades y actitudes científicas de los alumnos (Pozo, 1999).

La complejidad del pensamiento científico de un alumno se sustenta en su capacidad para aportar explicaciones científicas en contextos familiares y formales, y a su vez en su capacidad para generar modelos congruentes que puedan sustentarse con sus propias observaciones experimentales (Campanario y Moya, 1999). Para alcanzar esta complejidad el alumno necesita dejar de representar un rol pasivo y en cambio convertirse en un individuo altamente involucrado con la responsabilidad de desarrollar su propio aprendizaje, es decir, el alumno necesita estar motivado, tener un espacio para la discusión entre pares, la reflexión de sus ideas y además contar con una metodología que le permita realizar actividades experimentales para corroborar sus ideas y modelos (Campanario y Moya, 1999). Queda para el docente, en su función de promotor del pensamiento científico, generar las condiciones adecuadas que conlleven a los estudiantes a construir dicho pensamiento científico complejo. Con esta finalidad se diseñó la siguiente estructura teórica conformada por cuatro niveles.

En primera instancia (ver figura 3), para un cambio de rol en el alumno de “pasivo a activo” conviene plantear una enseñanza que parte del fundamento de la teoría constructivista, la cual considera que los alumnos regulan su propio aprendizaje y construyen su conocimiento a la luz de sus propias ideas (Pozo, 2002).



Figura 3. Primer nivel; el constructivismo.

Sin embargo, dicho compromiso constructivista no es suficiente, se necesita especificar que herramientas (modelos didácticos) se han de utilizar. Entonces, en un segundo nivel (ver figura 4) se encuentran dos modelos didácticos (constructivistas) que se complementan mutuamente; el modelo de exposición-discusión y el modelo inductivo. El primer modelo abre el espacio para la construcción del conocimiento a través de la discusión y la reflexión entre los estudiantes y el docente, mientras que el segundo modelo tiene características que posibilitan la enseñanza de una ciencia experimental y establece condiciones para que los alumnos corroboren la validez de un modelo científico por medio de observaciones experimentales (Eggen y Kauchak, 2004).

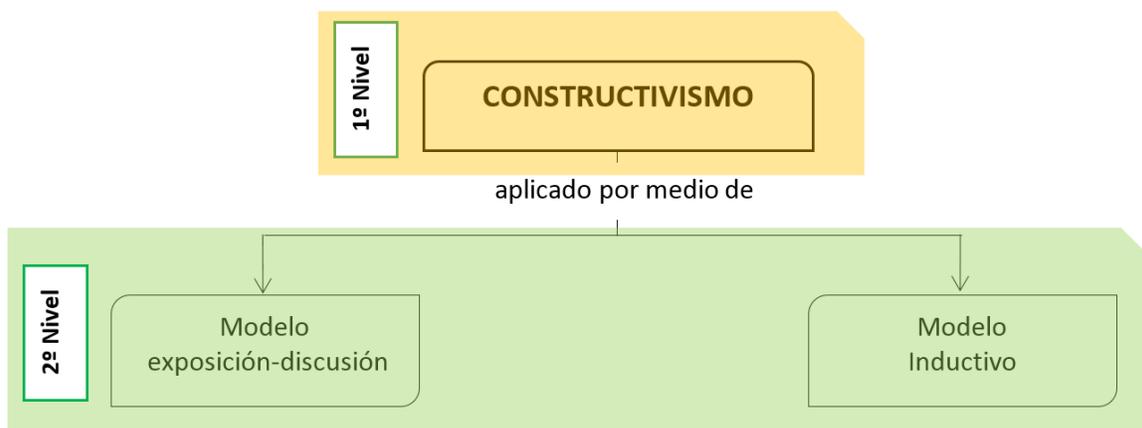


Figura 4. Segundo nivel; modelos didácticos.

Debido a la interacción social, el modelo de exposición-discusión fomenta la dupla de principios pedagógicos correspondientes al aprendizaje mutuo y al aprendizaje continuo (Linn y Hsi, 2000). Por otra parte, la interacción con el medio (aprender haciendo) que caracteriza al modelo inductivo permite promover los otros dos principios pedagógicos correspondientes; hacer el pensamiento visible y el conocimiento accesible (Linn y Hsi, 2000). Es así como estos dos modelos didácticos se complementan para desarrollar los cuatro principios pedagógicos para la enseñanza de las ciencias en el tercer nivel de la estructura (ver figura 5).

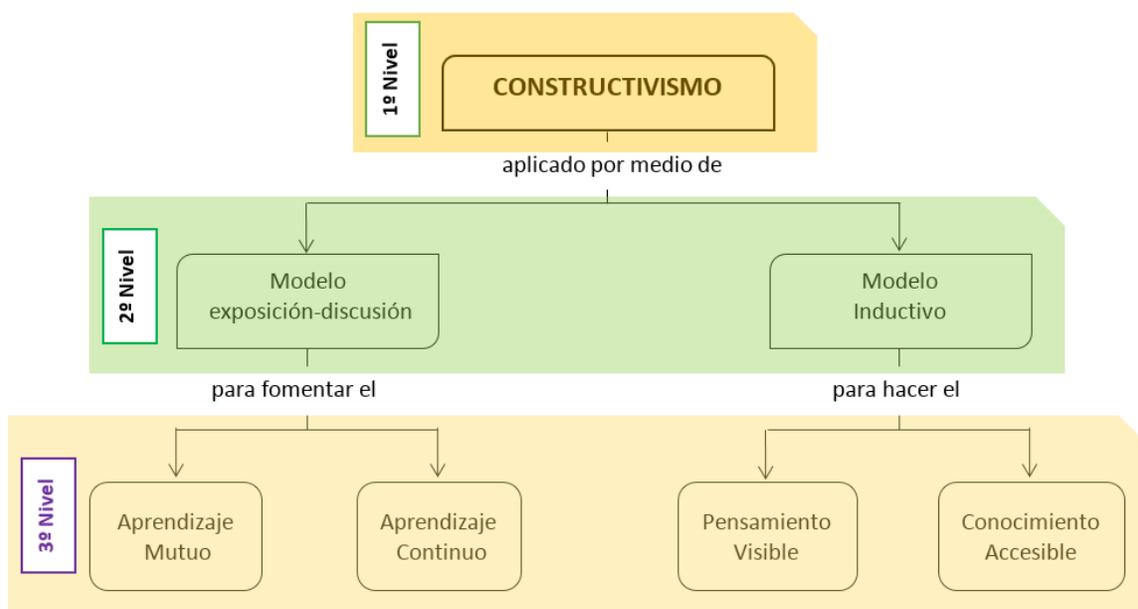


Figura 5. Tercer nivel; los principios pedagógicos

Por último, se tiene el cuarto nivel, donde los cuatro principios se integran para establecer una comunidad de aprendizaje (ver figura 6), definida como un grupo de seres humanos organizados para satisfacer metas que implican aprendizajes con el fin de cumplir con cuatro propósitos principales: permanecer informados, establecer comunicaciones, obtener, aplicar y generar conocimientos, así como realizar actividades de transformación (Barojas, 2004).

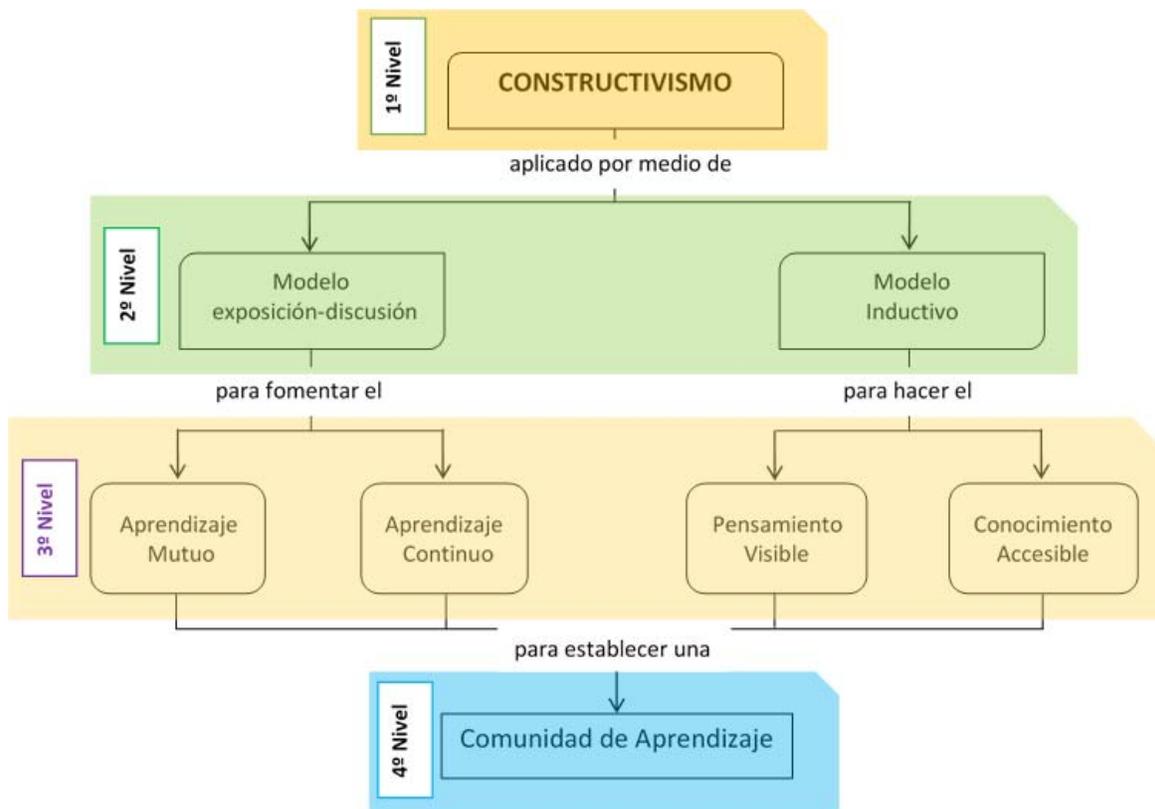


Figura 6. Cuarto nivel; la comunidad de aprendizaje

Este mapa conceptual (figura 6) constituye la representación de la estructura teórica constructivista que fundamenta esta propuesta de intervención (Tesis MADEMS). Esta estructura permite la articulación de la propuesta: se parte de una posición constructivista (1º Nivel) que se aplica explícitamente por medio de los modelos didácticos (2º Nivel) exposición-discusión e inductivo, dichos modelos enfatizan los cuatro principios pedagógicos para la enseñanza de las ciencias (3º Nivel) que se integran para establecer una comunidad de aprendizaje (4º Nivel). A continuación, se presenta detalladamente cada uno de los cuatro niveles que conforman la estructura teórica.

2.1 Primer nivel, el constructivismo en la enseñanza de las Ciencias

La teoría constructivista de la enseñanza de las ciencias es una respuesta ante los pobres resultados obtenidos por la educación tradicional, caracterizada por el modelo transmisor-receptor (Campanario y Moya, 1999). Este modelo didáctico ha sido “heredado” entre generaciones de docentes y aún es posible encontrarlo en la mayoría de las aulas, sin embargo, está sumamente acotado ya que la “transmisión del conocimiento” se limita a que el alumno logre la reproducción de los contenidos expuestos por el profesor en una evaluación (generalmente realizada por escrito) (Pozo y Gómez, 2001). Sin embargo, el conocimiento no se transfiere se crea, se construye a través de la interacción entre el individuo que aprende y los estímulos del medio (acción sobre la realidad según Freire, 1984). La existencia de este proceso de construcción resulta clara si se considera que la conciencia no es una réplica de la realidad ni la realidad es una invención ambigua (incluso caprichosa) del individuo. En cambio, la comprensión surge en una relación dialéctica entre la subjetividad y objetividad. Tomar en cuenta esta importante consideración permite evitar tanto el subjetivismo (equivoco) como la pretensión de un objetivismo (unívoco) (Beuchot, 2008).

En la figura 7 se esboza el proceso de integración que permite a los alumnos la construcción de sus conocimientos partiendo de sus experiencias y de sus ideas propias (ideas previas), modificándolas o complementándolas (Ormrod, 2004; Schunk, 2004) por medio de un proceso de integración, mucho más complejo que una reproducción.

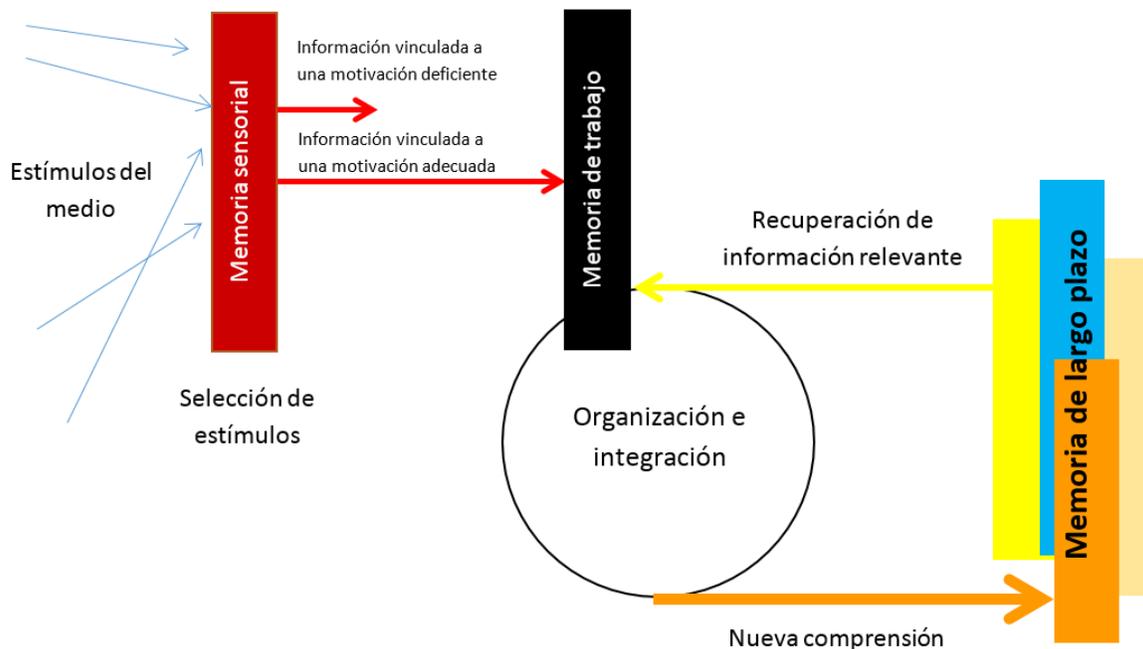


Figura 7. Esbozo del proceso mediante el cual un alumno modifica o complementa sus ideas (Eggen y Kauchak, 2004), basado en los trabajos de Ormrod (2004) y Schunk (2004). Los sentidos detectan los estímulos del medio, el cruce de algunos estímulos (flechas azules) enfatiza las limitaciones del individuo para interpretar con precisión todo su entorno, por ejemplo, aunque nuestro oído detecta el ruido no es posible obtener información de él en la memoria sensorial. En cambio, un estímulo que es detectado con claridad en la memoria sensorial es transformado en información, además, dependiendo de la motivación esta información llega a la memoria de trabajo. En la memoria de trabajo la nueva información (rojo) se organiza, contrasta e integra con la información relevante obtenida de la memoria a largo plazo (amarillo) el éxito de dicho proceso da como resultado una nueva comprensión (naranja, color intencionalmente elegido ya que es obtenido al combinar rojo y amarillo) que es enviada a la memoria a largo plazo para integrar una red que es más compleja y mejor organizada

Los estímulos del medio son detectados con los sentidos (por ejemplo, al tocar una superficie nuestro tacto recibe estímulos correspondientes a las características del material; rugosidad, temperatura, dureza, etc.), estos estímulos pasan una primera etapa de procesamiento en la memoria sensorial para transformarlos en información. Además, la motivación vinculada a cada estímulo condiciona la información que pasa a la memoria de trabajo (por ejemplo si es de nuestro interés conocer la temperatura del material este estímulo será más relevante y la información vinculada a éste llega a la memoria de trabajo). En la memoria de trabajo la nueva información entra a un ciclo donde se organiza, contrasta e integra con información relevante obtenida de la memoria a largo plazo (por ejemplo, en la memoria de trabajo se compara la temperatura del objeto con la referencia de temperatura corporal que se obtiene de la memoria a largo plazo). Si el proceso de

organización e integración resulta eficiente, la información queda cifrada en una nueva comprensión que es enviada a la memoria a largo plazo para integrar una red que es más compleja y mejor organizada que la que existía antes de iniciar todo el proceso (por ejemplo, al final del proceso el individuo conoce la temperatura relativa de la superficie con respecto a su persona). Así, el individuo no sólo empieza a conocer de modo diferente lo que antes conocía, sino también empieza a conocer lo que antes no conocía (Freire, 1984). La figura 7 esboza la complejidad del proceso de aprendizaje y pretende enfatizar que el aprendizaje no es una reproducción de un cierto contenido el cual es considerado positivo (verdades definitivas). Es decir, cuando los alumnos aprenden no sólo registran la información de manera indiscriminada, sino que interpretan la información para darle sentido (Bransford et al., 2000) en una nueva comprensión que se lleva a la memoria de trabajo (ver figura 7). El proceso de aprendizaje queda entonces centrado en el alumno ya que él se encarga, en última instancia, de dotar de un significado o sentido a los contenidos señalados por los temarios al establecer relaciones concretas entre los elementos (por ejemplo, conceptos) de las estructuras escolares (asignaturas o materias) y los elementos de sus estructuras de pensamiento.

En el constructivismo se tiene una enseñanza de las ciencias como un saber histórico y provisional, e intenta hacer a los alumnos partícipes en el proceso de elaboración del conocimiento científico, con las dudas e incertidumbres que este conlleva (Pozo y Gómez, 2001; Garritz, 2010). Y al reconocer que el conocimiento no es algo dado y acabado, sino un proceso social entre los seres humanos y el mundo (Freire, 1984) la enseñanza constructivista también asume la responsabilidad de brindar un espacio donde los alumnos puedan realizar una actividad intrínsecamente humana como la ciencia.

Por lo tanto, en el constructivismo el alumno deja de ser un mero espectador para convertirse en el actor principal responsable de su aprendizaje, para este ambicioso objetivo la motivación se convierte en un elemento tan importante como las ideas previas ya que la adecuada motivación condiciona en buena medida el éxito de los aprendizajes alcanzados mediante las actividades académicas (Brophy, 1998) y además es un factor que impulsa a los estudiantes para seguir aprendiendo (Pozo, 2002).

Por otra parte, el docente deja de representar el rol de expositor para convertirse en un modelo del pensamiento científico (Posner et al., 1982) que permite superar la mera opinión que se tiene de los fenómenos del entorno para llegar a un conocimiento cabal (Freire, 1984). Además, dada la importancia de la motivación, en la enseñanza constructivista el docente procura evitar el tedio, aburrimiento y obligatoriedad ya que estos factores contribuyen a alejar a los alumnos de las aulas (Pozo, 2002). Así al atender con particular atención la motivación de los estudiantes la enseñanza constructivista permite mantener el ejercicio de la ética profesional presentada en capítulo 1, el cuidado de los alumnos y el cuidado de la sociedad, motivando a los alumnos para seguir aprendiendo dentro del sistema educativo.

2.2 Segundo nivel, modelos didácticos

Con la finalidad de lograr el objetivo intrínsecamente constructivista de involucrar al alumno como el principal responsable de su aprendizaje, se necesita recurrir necesariamente a la didáctica. El concepto de didáctica entraña un significado profundo y con múltiples aristas. Como consecuencia de dicha complejidad a lo largo de los años, los autores han utilizado diversas definiciones para intentar describir este concepto; como ejemplos se tienen: “Ciencia del aprendizaje y de la enseñanza en general”, “(actividad que) tiene por objeto las decisiones normativas que llevan al aprendizaje gracias a la ayuda de métodos de enseñanza”, “Ciencia que tiene por objeto la organización y la orientación de situaciones de enseñanza-aprendizaje de carácter instructivo, tendientes a la formación del individuo en estrecha dependencia de su educación integral”, de la autoría de Dolch y Fernández y Escudero, respectivamente (Mallart, 2001). Por lo tanto, para el caso particular de un docente de ciencias, la didáctica es la respuesta que, desde la docencia, se da a la pregunta: ¿Cómo enseñar ciencias? Y aunque aún no se ha conseguido una solución definitiva (misma que probablemente no es posible alcanzar por la complejidad que encierra el concepto en cuestión), se cuenta con algunas propuestas (modelos didácticos) que desde diferentes enfoques pretenden dar una respuesta a esta pregunta. Según Eggen y Kauchak (2009), un modelo didáctico es una estrategia de enseñanza compuesta por

acciones generales, que está diseñada para ayudar a que los estudiantes logren aprendizajes disciplinarios.

Cabe señalar que de forma general los modelos didácticos no pueden ser considerados como simples recetas a seguir, pues queda en el docente exhibir su dimensión profesional, para implementar y combinar las características de diferentes modelos con la finalidad de sopesar para los alumnos las dificultades inherentes a los temas disciplinarios y ayudarlos en la construcción organizada de conocimientos (Garritz y Trinidad, 2004).

En particular en este trabajo (tesis MADEMS) se recurre al modelo de exposición-discusión y al modelo inductivo (ver subtemas 2.2.1 y 2.2.2), cuya elección se fundamenta en el cuidado de dos elementos clave señalados en la figura 7: la organización e integración y la selección de estímulos, respectivamente.

2.2.1 El modelo de exposición-discusión

Aunque las exposiciones resultan fáciles de implementar, por lo cual son formas de instrucción muy frecuentes, pueden resultar poco eficientes debido a que mantienen a los estudiantes en un rol pasivo, sobrecargan su memoria de trabajo y no necesariamente logran motivar a los estudiantes (Eggen y Kauchak, 2004). Con la intención de superar estas condiciones desfavorables, el modelo didáctico de exposición-discusión enfatiza el papel que tiene la participación de los alumnos en discusiones guiadas por preguntas del profesor. Este modelo promueve que los alumnos comprendan no solo conceptos específicos sino también las relaciones que existen entre ellos, es decir con este modelo se apoya la organización e integración presentada en la figura 7. Por lo tanto, en el entorno social dentro de la discusión, se estructura el nuevo material y además se promueve que este se vincule con los esquemas existentes en los alumnos, proceso denominado como integración. En este sentido el profesor no educa a los alumnos, sino que facilita las condiciones para que se eduquen entre sí; *“nadie educa a nadie, los hombres se educan entre sí, mediatizados por su mundo”* (Freire, 1985). En concreto, se puede decir que el modelo de exposición-discusión consiste en el desarrollo, en un ambiente social, de los objetivos señalados en un organizador de avance.

Cada sesión de exposición-discusión se implementa en las siguientes tres fases que están influenciadas por el trabajo de Eggen y Kauchak (2009), ver tabla 5.

Tabla 5. Fases de implementación para una sesión que utiliza el modelo de exposición-discusión (Eggen y Kauchak, 2009). Los organizadores de avance y las fases de implementación, correspondientes a cada sesión, se documentan en el ANEXO 1.

Fase	Descripción
Fase 1. Introducción y presentación	<p>Se muestran los objetivos de la sesión en un “organizador de avance”, el cual es un organizador previo de tipo comparativo (Moreira, 2012; Rodríguez y Tejedor, 1996). Los organizadores son parte de la teoría de Ausubel, y consisten en afirmaciones verbales o escritas que estructuran el material nuevo y lo vinculan al conocimiento previo de los alumnos.</p> <p>Basándose en el organizador de avance se presenta el nuevo material, con intención de activar el conocimiento previo y motivar a los estudiantes, el profesor utiliza ejemplos, analogías o actividades de índole experimental.</p>
Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	<p>Mediante preguntas el profesor comprueba que los alumnos hayan entendido el material presentado y propone una actividad (ejercicio) que coloca a los alumnos en un rol activo. Los alumnos realizan la actividad en equipos, discuten sus dudas, ideas y posibles resultados. El profesor supervisa las discusiones de los estudiantes para resolver dudas y continuar promoviendo la relación del nuevo material con aprendizajes anteriores o situaciones contextualizadas en la vida cotidiana.</p>
Fase 3. Revisión y cierre	<p>El profesor finaliza la discusión cristalizando los nuevos aprendizajes en mapas conceptuales o enfatizando puntos que sean especialmente relevantes, además comparte la solución de dudas que observó en las discusiones de los equipos y comenta situaciones especialmente relevantes acerca del trabajo realizado por los estudiantes.</p>

2.2.2 El modelo inductivo

En las ciencias, el concepto de inducción hace referencia a las diversas formas (estrategias y procedimientos) que utiliza un científico para lograr conocimientos y proponer explicaciones universales a partir de evidencias, es decir se parte de información conocida hacia una nueva información (Pineda, 2009). En el ámbito educativo, el modelo didáctico emula este quehacer científico, se denomina inductivo. Este modelo didáctico es particularmente útil para la enseñanza de aquellos contenidos científicos que no se pueden observar directamente (Eggen y Kauchak, 2009), por tal motivo se recurre a él en esta propuesta de enseñanza de los principios de la mecánica cuántica.

El modelo inductivo enfatiza el compromiso activo de los alumnos y el papel que tienen en la construcción de su propia comprensión. Las sesiones impartidas con este modelo dependen de los ejemplos y actividades que sean elegidas, pues la correcta elección de actividades y experiencias planteadas por el profesor hacia sus estudiantes despiertan en ellos una motivación intrínseca (Pintrich y Schunk, 2002; Stipek, 2002) y por lo tanto coadyuva a que la información generada en la memoria sensorial logre llegar a la memoria de trabajo para realizar el proceso de integración (ver figura 7).

En particular, esta propuesta de intervención (tesis MADEMS) se propone implementar el proceso de “descubrimiento guiado” mediante la ejecución una serie de trabajos prácticos (ver sesiones 1-8, anexo 1). Estas actividades motivan a los alumnos, permiten un conocimiento vivencial, ilustran la relación entre las variables significativas y ayudan a la comprensión de conceptos (Jiménez *et. al*, 2003). Consisten en experimentos sencillos desarrollados durante las sesiones, y aunque no pretenden ser una indagación, su diseño coincide con la clasificación propuesta por Hansen (2002). Por ende, los trabajos prácticos utilizados en este trabajo tienen las siguientes características:

Tabla 6. Características de los trabajos prácticos implementados, basados en el trabajo de Hansen (2002).

Tipo de Trabajo Práctico	Características
Abierto	Se plantea una pregunta que el alumno intenta responder mediante el diseño e implementación de una investigación o actividad experimental. Está centrado en el estudiante, quien además se encarga de comunicar los resultados obtenidos.
Guiado	El profesor ayuda a que los estudiantes desarrollen una investigación en el salón de clases o en el laboratorio.
Acoplado	Consiste en una combinación del trabajo práctico abierto y guiado.
Estructurado	Dirigido primordialmente por el profesor, para que los alumnos desarrollen productos específicos o lleguen a puntos finales.

Al ofrecer actividades que brinden experiencias para que un estudiante desarrolle una nueva comprensión, el modelo inductivo mantiene una estrecha relación con el ideal señalado por Piaget *“cada vez que se enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente”* (Campanario y Moya, 1999).

2.3 Tercer nivel, principios pedagógicos para la enseñanza de las Ciencias

La elección de los modelos didácticos que forman la estructura teórica está sustentada en primera instancia por su raíz constructivista, pero a su vez la elección de estos modelos (exposición-discusión e inductivo) permite implementar los cuatro principios pedagógicos (P1-P4), originalmente aplicados por Linn y Hsi (2000) a la enseñanza de las ciencias (ver tabla 7). El carácter de aprendizaje social del modelo de exposición-discusión posibilita desarrollar la dupla conformada por los primeros dos principios pedagógicos (P1 y P2). El aprendizaje mutuo encuentra su espacio preferentemente en el intercambio de ideas que se suscita en las discusiones entre los estudiantes en torno a las actividades realizadas durante cada sesión (fase 2 del modelo exposición-discusión). Además, este modelo

promueve el aprendizaje continuo dado que apoya la asimilación de conceptos nuevos sobre una estructura de conceptos previos (proceso de organización e integración presentado en la figura 7).

Por otra parte, el modelo inductivo brinda un espacio para desarrollar la segunda dupla de principios pedagógicos que están vinculados con el aprendizaje individual (de Piaget). Específicamente, las actividades inductivas propuestas por el profesor durante las sesiones (trabajos prácticos guiados) tienen como objetivo hacer accesible el conocimiento para cada estudiante, y las actividades extra clase están enfocadas a que los estudiantes hagan visible su pensamiento presentando ejemplos nuevos o generalizaciones de conceptos (trabajos prácticos abiertos); ver tabla 7.

Tabla 7. Relación entre los modelos didácticos y los principios pedagógicos.

Modelo Didáctico	Principios pedagógicos (P1-P4)
Exposición-discusión	P1. Ayudar a que se dé el aprendizaje mutuo
	P2. Promover el aprendizaje continuo
Inductivo	P3. Hacer visible el pensamiento
	P4. Hacer accesible el conocimiento

Las características de los modelos didácticos utilizados permiten al profesor promover los principios P1-P4, pero dado que el aprendizaje constructivista se centra en los estudiantes, establecí un portafolio de evidencias que permitió la expresión concreta (por parte de los alumnos) de los principios pedagógicos antes mencionados.

2.3.1 El portafolio de evidencias

Este es un recurso didáctico que promueve la unión de los elementos pedagógicos que involucra la enseñanza de las ciencias y los elementos que conscientemente un individuo identifica como afines. Esta herramienta permite que el alumno ejercite los principios P1-P4 y además contribuye a lograr un adecuado nivel de motivación ya que brinda un espacio para la libre expresión del estudiante. Explícitamente consiste en un sobre tamaño carta, que se divide en cuatro aspectos; lengüeta, portada, contraportada e interior (ver figura 8).

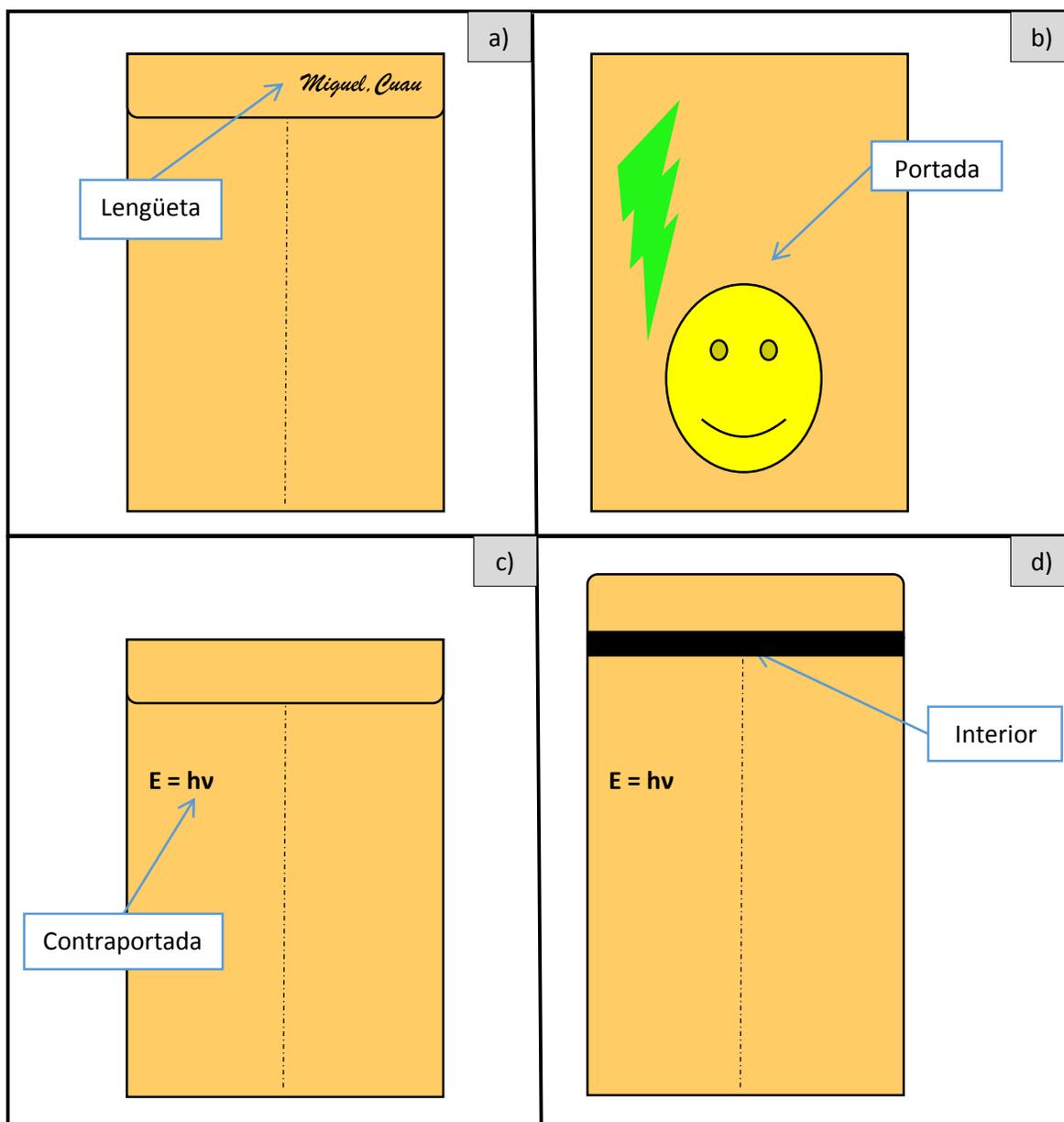


Figura 8. Elementos del portafolio de evidencias; a) Lengüeta, b) Portada, c) Contraportada y d) Interior.

En la tabla 8 se presenta la relación entre dos de los elementos del portafolio de evidencias (interior y contraportada) y la aplicación de los principios pedagógicos P1-P4.

Tabla 8. Principios pedagógicos y el portafolio de evidencias

Principios pedagógicos	Relación con el portafolio de evidencias
P1. Ayudar a que se dé el aprendizaje mutuo	Cada contribución específica que los estudiantes deciden integrar en la contraportada surge del consenso y la discusión entre los integrantes del equipo, y no son una elección arbitraria de un solo individuo (figura 8c).
P2. Promover el aprendizaje continuo	La contraportada del sobre es una memoria alterna, que evita la sobrecarga de la memoria de trabajo y permite que los estudiantes retomen los contenidos más importantes de sesiones pasadas para utilizarlos en la construcción de nuevos aprendizajes (figura 8c).
P3. Hacer visible el pensamiento	En la contraportada los alumnos recopilan los contenidos más relevantes de cada de sesión, algunos contenidos enfatizados por el profesor y otros seleccionados por los integrantes de cada equipo (figura 8c). Así, aunque todos los sobres tienen un contenido fundamental en común (señalado por el profesor), gracias a las contribuciones de los alumnos se convierten en un producto único que responde a sus propias necesidades de aprendizaje.
P4. Hacer accesible el conocimiento	En el interior del sobre los alumnos resguardan las actividades realizadas durante cada sesión, esta característica de accesibilidad permite a los estudiantes recuperar fácilmente los resultados de las actividades previas para aclarar y generalizar conceptos (figura 8d).

Incluir imágenes representativas de los gustos y afinidades que comparten los integrantes de cada equipo en la portada crea un vínculo entre los gustos de los estudiantes y el sobre, y al recopilar dichas imágenes los estudiantes convierten el sobre en un elemento afín y que aprecian, resguardan y traen consigo en cada sesión. Esta componente psicológica-social convierte al portafolio de evidencias en una herramienta que motiva a los estudiantes y promueve la construcción de resiliencia educativa, aplicando particularmente tres pilares del modelo BMH-enriquecido desarrollado en el capítulo 1 (ver tabla 9).

Tabla 9. Pilares resilientes y el portafolio de evidencias.

Pilares Resilientes	Relación con el portafolio de evidencias
PR1. Enriquecimiento de vínculos	Los alumnos trabajan de forma colaborativa para definir qué elementos son incluidos en la portada de su sobre de tal forma que todos los integrantes del equipo estén satisfechos (figura 8b).
PR4. Brindar apoyo y afecto	En la lengüeta del sobre los alumnos incluyen el nombre de su preferencia y al dialogar con ellos se procura respetar su decisión con la intención de que se sientan conectados con su interlocutor (figura 8a).
PR6. Brindar oportunidades de participación significativa	Dado que el aprendizaje se centra en los estudiantes, son ellos quienes deciden qué contenidos particulares de cada sesión se deben de incluir en la contraportada del sobre para apoyar su proceso de aprendizaje (figura 8c).

En el portafolio de evidencias se tienen una herramienta versátil y fácil de implementar durante las sesiones de clase, lo cual permite promover tres pilares de resiliencia educativa (PR1, PR4 y PR6), la aplicación de los principios pedagógicos (P1-P4) y mantener motivados a los estudiantes. Además, constituye una evidencia física que a posteriori (al término de las sesiones) puede ser analizada (ver capítulo 4).

2.4 Cuarto nivel, comunidades de aprendizaje

Las comunidades de aprendizaje son grupos de seres humanos organizados para satisfacer metas que implican aprendizajes con el fin de cumplir con cuatro propósitos principales: permanecer informados, establecer comunicaciones, obtener, aplicar y generar conocimientos, así como realizar actividades de transformación (Barojas, 2004). Un adecuado funcionamiento de la comunidad de aprendizaje está relacionado directamente con el cumplimiento de los principios pedagógicos P1-P4, por lo tanto, directrices que fomenten los principios pedagógicos son cruciales ya que a su vez permiten la formación y continuidad de una comunidad de aprendizaje. Estas directrices se denominan criterios de operación CO1-CO16 (ver tabla 10), y son cuartetos diseñadas para fomentar cada uno de los principios pedagógicos (Martínez y Barojas, 2012).

Tabla 10. Principios pedagógicos y sus respectivos criterios de operación.

Principios pedagógicos	Criterios de Operación
P1. Ayudar a que se dé el aprendizaje mutuo	CO1. Estimular a los miembros de la comunidad para que escuchen y aprendan unos de otros.
	CO2. Promover las interacciones productivas y respetuosas.
	CO3. Estimular a los miembros de la comunidad para diseñar y aplicar prudentemente criterios y normas.
	CO4. Organizar múltiples actividades sociales estructuradas.
P2. Promover el aprendizaje continuo	CO5. Comprometer a los miembros de la comunidad para que reflexionen acerca de sus propias ideas e interacción con otros miembros de la comunidad.
	CO6. Comprometer a los miembros de la comunidad para que sean críticos de la información que manejan.
	CO7. Promover la participación de los miembros de la comunidad en actividades que estén orientadas al establecimiento de una cultura de desarrollo permanente.
	CO8. Establecer procesos de indagación generalizables que sean apropiados en proyectos de importancia social.
P3. Hacer visible el pensamiento	CO9. Modelar el proceso de construcción del conocimiento en relación con el manejo de explicaciones alternativas y el diagnóstico de errores, de manera que los alumnos interactúen y lleguen a acuerdos sin dañar sus relaciones personales.
	CO10. Apoyar a los miembros de la comunidad para explicar sus propias ideas.
	CO11. Fomentar el uso de representaciones múltiples utilizando diversos medios.
	CO12. Promover el registro sistemático del conocimiento adquirido.
P4. Hacer accesible el conocimiento	CO13. Estimular a los miembros de la comunidad para que construyan conocimientos a partir de sus ideas y desarrollen puntos de vista más poderosos y de utilidad práctica.
	CO14. Ayudar a los miembros de la comunidad para que investiguen personalmente problemas relevantes y revisen con regularidad sus conocimientos.
	CO15. Apoyar a los miembros de la comunidad para que participen en procesos de indagación e investigación para enriquecer sus conocimientos.
	CO16. Fomentar la comunicación entre los miembros de la comunidad para compartir conocimientos especializados.

Los criterios CO1-CO16 son la primera línea de acción para que las sesiones de enseñanza expresen la estructura teórica de los cuatro niveles antes descritos. Constituyen las directrices que día a día permiten, durante cada sesión, el ejercicio de los principios

pedagógicos (3° Nivel) para promover una comunidad de aprendizaje entre los alumnos (4° Nivel). Además, ya que los P1-P4 están relacionados (en duplas) con los modelos didácticos (2° Nivel), se tiene entonces que los criterios CO1-CO16 a su vez mantienen vigente el compromiso con la teoría constructivista del aprendizaje (1° Nivel), ver figura 9.

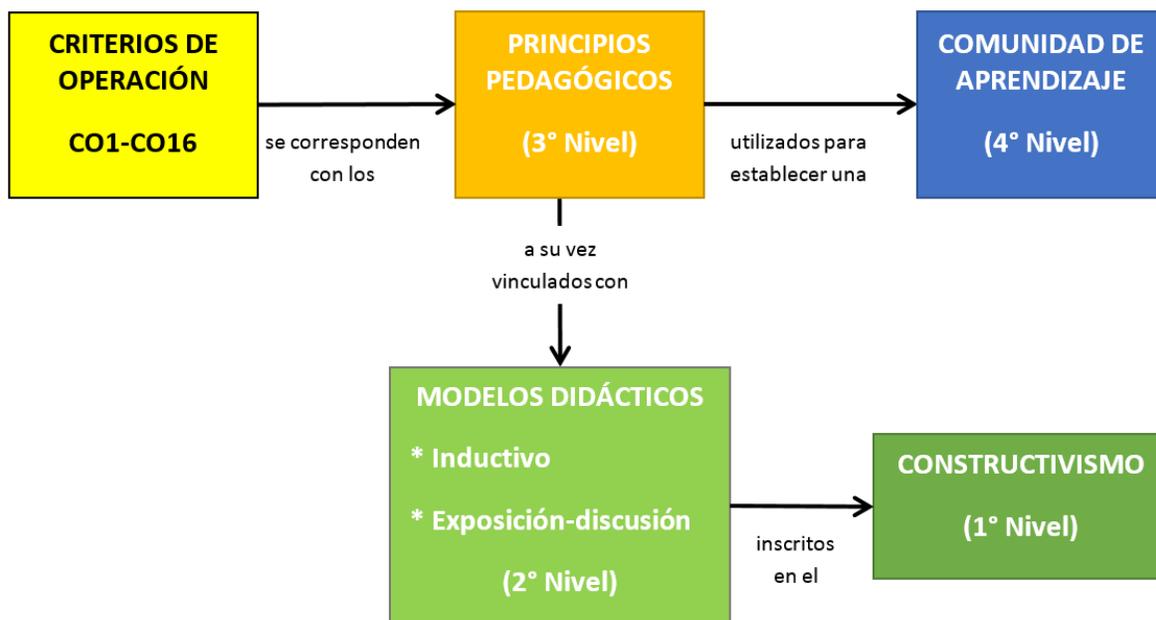


Figura 9. Interpretación pragmática de la estructura teórica. En el día a día el profesor utiliza los criterios de operación CO1-CO16 para promover los principios pedagógicos P1-P4, mismos que permiten establecer una comunidad de aprendizaje y además están relacionados con dos modelos didácticos constructivistas. De esta forma utilizando los criterios de operación el profesor puede promover una comunidad de aprendizaje entre sus estudiantes además de inscribir el ejercicio de su profesión dentro de la corriente constructivista.

Este mapa conceptual (figura 9) es una interpretación pragmática de la estructura teórica ya que presenta actividades concretas (CO1-CO16) que mantienen la relación entre las sesiones de clase (incluidas en el anexo 1) y los cuatro niveles que forman la estructura teórica.

2.5 Conclusiones

La estructura teórica parte del constructivismo como jerarquía general (1º Nivel) implementado mediante dos modelos didácticos particulares (2º Nivel) que son expresiones de duplas de principios pedagógicos (3º Nivel) que convergen hacia el desarrollo de una comunidad de aprendizaje (4º Nivel). Esta estructura es simétrica, reconoce que el aprendizaje social e individual resultan igualmente relevantes para la construcción de conocimiento, y procura fomentar en los estudiantes estos dos tipos de aprendizaje, el individual y el social (ver figura 10).

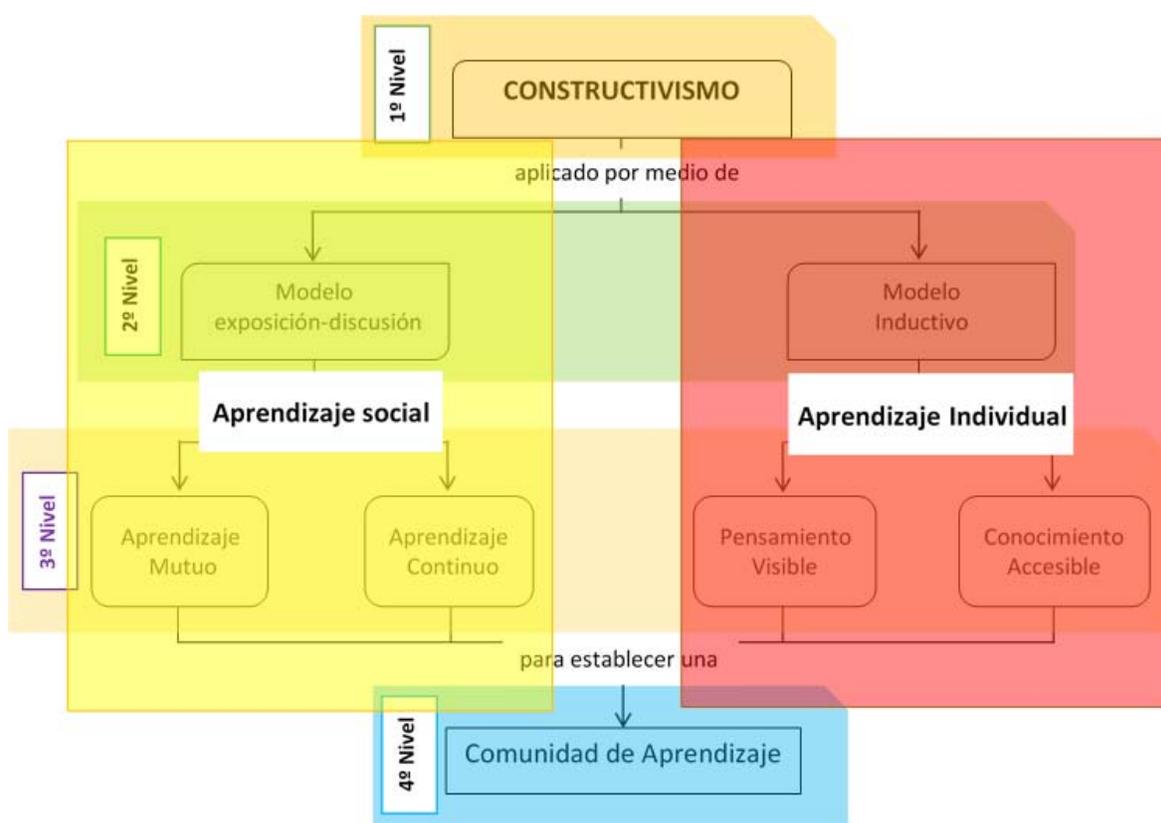


Figura 10. Simetría de la estructura teórica, respecto al aprendizaje social y el aprendizaje individual.

Esta simetría entre lo social y lo individual se encuentra nuevamente al analizar el papel que tienen los modelos didácticos (inductivo y exposición-discusión) en la construcción de una nueva comprensión. Dicho análisis encuentra explícitamente que cada modelo apoya particularmente a la memoria sensorial y la memoria de trabajo, respectivamente. Las actividades del modelo inductivo proporcionan estímulos selectos (experiencias) que están

diseñadas para motivar a los alumnos y facilitar, que en la memoria sensorial, se genere información con una adecuada motivación y por ende ésta pueda llegar a la memoria de trabajo. Por otra parte, el modelo de exposición-discusión aprovecha la nueva información (vinculada a una buena motivación) y apoya a la memoria de trabajo para lograr un exitoso proceso de integración, ver figura 11 y comparar con la figura 7.

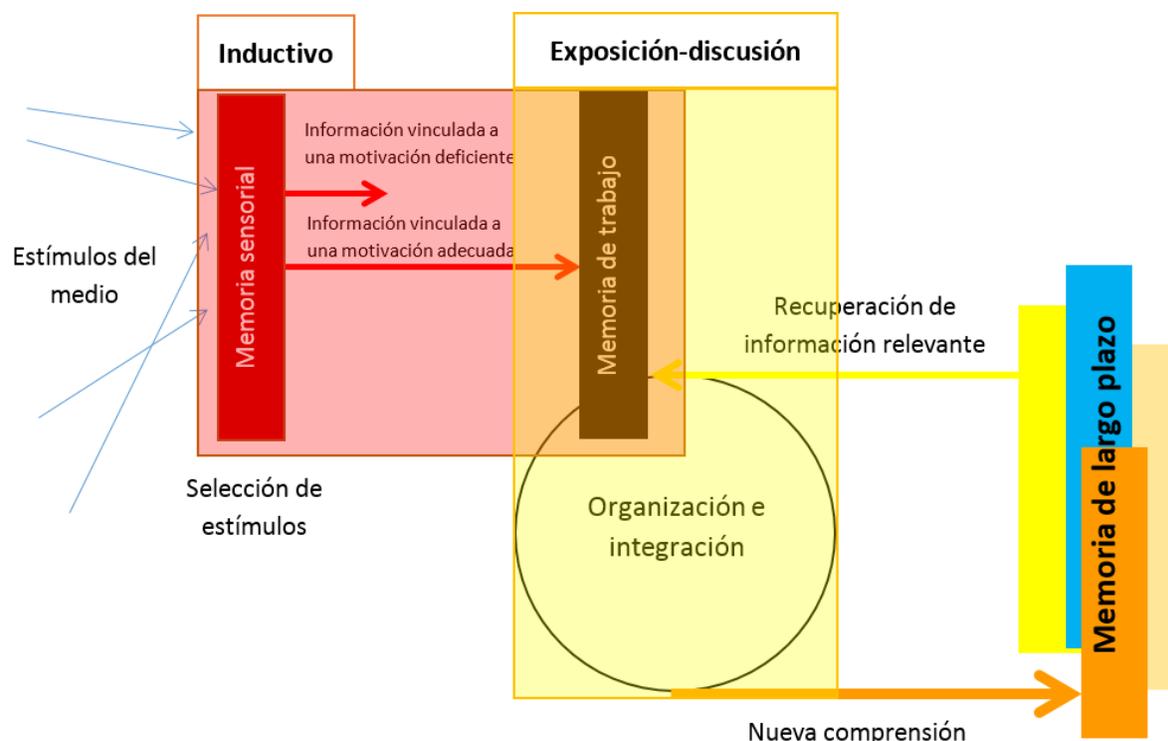


Figura 11. Relación entre los modelos didácticos (inductivo y exposición-discusión) y la construcción de una nueva comprensión.

Además, con la intención de que cada sesión de enseñanza constituya una expresión de la estructura teórica se diseñó una interpretación pragmática (ver figura 9) que utiliza directrices concretas denominadas criterios de operación CO1-CO16 para recuperar cada uno de los cuatro niveles. Los criterios CO1-CO16 se convierten en un elemento particularmente relevante pues gracias a ellos se promueve el desarrollo de una comunidad de aprendizaje, y además su cuidadoso diseño permite también promover el desarrollo de resiliencia educativa (Martínez y Barojas, 2012). Estos criterios complementan el capítulo 1, ya que permiten promover los pilares resilientes PR1-PR6 (ver tabla 11). De esta forma se

tiene un proceso de formación intrínsecamente humanista que busca mejorar el desempeño escolar pero además conlleva lograr una mejoría en la calidad de vida de los miembros de la comunidad.

Tabla 11. Pilares de la resiliencia y sus respectivos criterios de operación.

Pilar de la Resiliencia	Criterios de operación
PR1. Enriquecimiento de vínculos	CO2. Promover las interacciones productivas y respetuosas.
	CO4. Organizar múltiples actividades sociales estructuradas.
PR2. Establecimiento de límites claros y firmes.	CO3. Estimular a los miembros de la comunidad para diseñar y aplicar prudentemente criterios y normas.
PR3. Enseñanza de habilidades para la vida	CO6. Comprometer a los miembros de la comunidad para que sean críticos de la información que manejan.
	CO8. Establecer procesos de indagación generalizables que sean apropiados en proyectos de importancia social.
	CO9. Modelar el proceso de construcción del conocimiento en relación con el manejo de explicaciones alternativas y el diagnóstico de errores, de manera que los alumnos interactúen y lleguen a acuerdos sin dañar sus relaciones personales.
	CO11. Fomentar el uso de representaciones múltiples utilizando diversos medios.
PR4. Brindar apoyo y afecto	CO13. Estimular a los miembros de la comunidad para que construyan conocimientos a partir de sus ideas y desarrollen puntos de vista más poderosos y de utilidad práctica.
	PR4. Brindar apoyo y afecto
PR4. Brindar apoyo y afecto	CO16. Fomentar la comunicación entre los miembros de la comunidad para compartir conocimientos especializados.
PR5. Establecer y comunicar expectativas elevadas	CO7. Promover la participación de los miembros de la comunidad en actividades que estén orientadas al establecimiento de una cultura de desarrollo permanente.
	CO12. Promover el registro sistemático del conocimiento adquirido.

	CO14. Ayudar a los miembros de la comunidad para que investiguen personalmente problemas relevantes y revisen con regularidad sus conocimientos.
	CO15. Apoyar a los miembros de la comunidad para que participen en procesos de indagación e investigación para enriquecer sus conocimientos.
PR6. Brindar oportunidades de participación significativa	CO5. Comprometer a los miembros de la comunidad para que reflexionen acerca de sus propias ideas e interacción con otros miembros de la comunidad.
	CO10. Apoyar a los miembros de la comunidad para explicar sus propias ideas.

Los criterios de operación CO1-CO16 constituyen la pieza que permite unir los pilares resilientes PR1-PR6 con los principios pedagógicos P1-P4 (ver apartado 2.3). De esta forma, con los criterios CO1-CO16 se crea un puente que une el capítulo 1 y el capítulo 2 (ver figura 12).

Esta unión recupera el compromiso de una enseñanza que logre una alfabetización en ciencias, donde los alumnos (usualmente pasivos) se transformen en sujetos involucrados en un proceso de conocimiento transformador de su realidad mediante el ejercicio de su derecho a hacer ciencia (Zorrilla, 2008; Freire, 1984).

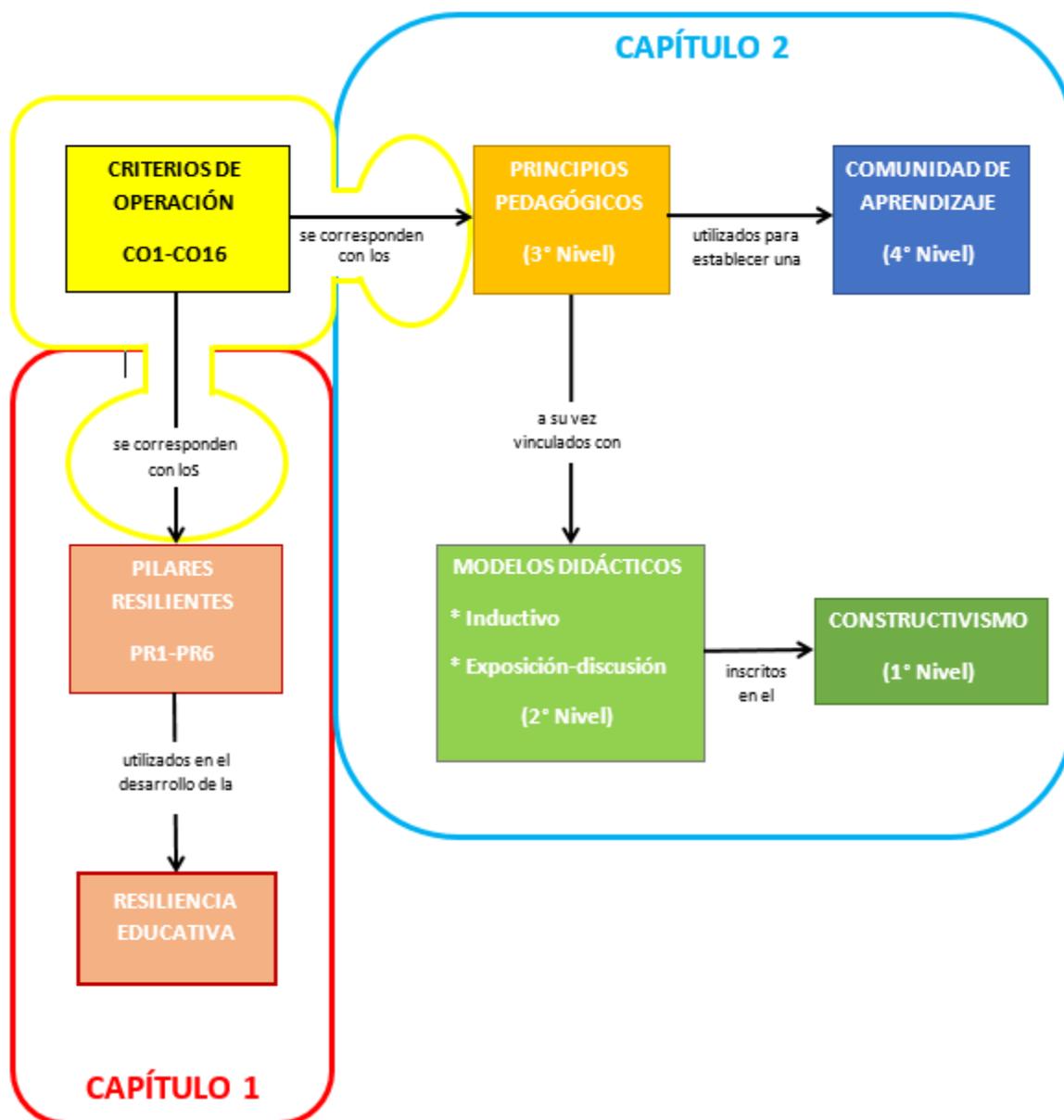


Figura 12. Los criterios de operación CO1-CO16 son la pieza de unidad entre los capítulos 1 y 2

Se debe enfatizar, que la herramienta operativa constituida por los CO1-CO16, también permite identificar el vínculo entre esta propuesta de intervención (Tesis MADEMS) con la Reforma Integral para la Educación Media Superior (RIEMS) (ver capítulo 1), ya que los CO están relacionados con algunas de las once Competencias Genéricas CG1-CG11 que permiten articular y dar identidad a la EMS en nuestro país (SEP, 2008), ver tabla 12.

Tabla 12. Relación entre los criterios de operación CO y las competencias genéricas CG de la RIEMS.

Competencia Genérica	Atributos	Criterios de Operación
CG1. Se conoce y valora a sí mismo y aborda problemas y retos teniendo en cuenta los objetivos que persigue.	Enfrenta las dificultades que se le presentan y es consciente de sus valores, fortalezas y debilidades.	CO9
	Identifica sus emociones, las maneja de manera constructiva y reconoce la necesidad de solicitar apoyo ante una situación que lo rebase.	CO2
	Analiza críticamente los factores que influyen en su toma de decisiones.	CO6
	Asume las consecuencias de sus comportamientos y decisiones.	CO3
CG3. Elige y practica estilos de vida saludables.	Cultiva relaciones interpersonales que contribuyen a su desarrollo humano y el de quienes lo rodean.	CO7
CG4. Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados.	Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas.	CO11
	Aplica distintas estrategias comunicativas según quienes sean sus interlocutores, el contexto en el que se encuentra y los objetivos que persigue.	CO5
	Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas.	CO11
CG5. Desarrolla innovaciones y propone soluciones a problemas a partir de métodos establecidos.	Ordena información de acuerdo a categorías, jerarquías y relaciones.	CO12
	Identifica los sistemas y reglas o principios medulares que subyacen a una serie de fenómenos.	CO13
	Construye hipótesis y diseña y aplica modelos para probar su validez.	CO9
	Sintetiza evidencias obtenidas mediante la experimentación para producir conclusiones y formular nuevas preguntas.	CO15
	Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para procesar e interpretar información.	CO11
CG6. Sustenta una postura personal sobre temas de interés y relevancia general, considerando otros puntos de vista de manera crítica y reflexiva.	Elige las fuentes de información más relevantes para un propósito específico y discrimina entre ellas de acuerdo a su relevancia y confiabilidad.	CO6
	Evalúa argumentos y opiniones e identifica prejuicios y falacias.	CO9

	Reconoce los propios prejuicios, modifica sus puntos de vista al conocer nuevas evidencias, e integra nuevos conocimientos y perspectivas al acervo con el que cuenta.	CO13
	Estructura ideas y argumentos de manera clara, coherente y sintética.	CO12
CG7. Aprende por iniciativa e interés propio a lo largo de la vida.	Define metas y da seguimiento a sus procesos de construcción de conocimiento.	CO7
	Identifica las actividades que le resultan de menor y mayor interés y dificultad, reconociendo y controlando sus reacciones frente a retos y obstáculos.	CO9
	Articula saberes de diversos campos y establece relaciones entre ellos y su vida cotidiana.	CO13
CG8. Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos.	Propone maneras de solucionar un problema o desarrollar un proyecto en equipo, definiendo un curso de acción con pasos específicos.	CO2
	Aporta puntos de vista con apertura y considera los de otras personas de manera reflexiva.	CO13
	Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.	CO7
CG9. Participa con una conciencia cívica y ética en la vida de su comunidad, región, México y el mundo.	Privilegia el diálogo como mecanismo para la solución de conflictos.	CO1
	Toma decisiones a fin de contribuir a la equidad, bienestar y desarrollo democrático de la sociedad.	CO8
	Contribuye a alcanzar un equilibrio entre el interés y bienestar individual y el interés general de la sociedad.	CO3
	Actúa de manera propositiva frente a fenómenos de la sociedad y se mantiene informado.	CO16
CG10. Mantiene una actitud respetuosa hacia la interculturalidad y la diversidad de creencias, valores, ideas y prácticas sociales.	Reconoce que la diversidad tiene lugar en un espacio democrático de igualdad de dignidad y derechos de todas las personas, y rechaza toda forma de discriminación.	CO2
	Dialoga y aprende de personas con distintos puntos de vista y tradiciones culturales mediante la ubicación de sus propias circunstancias en un contexto más amplio.	CO1

CAPÍTULO 3

La enseñanza de los principios de la mecánica cuántica

*“Una vez que hemos mordido la manzana cuántica
nuestra inocencia se ha perdido para siempre”*

R. Shankar (1994)

3.0 Introducción ¿Por qué enseñar mecánica cuántica?

Se ha considerado que la mecánica cuántica es un tema complejo que permite la descripción del comportamiento de objetos microscópicos (átomos, electrones, etc), y por lo tanto difícilmente puede trabajarse en el nivel de Enseñanza Media Superior (EMS) pues exige un gran nivel de abstracción por parte de los alumnos (Serway y Jewett, 2003; Johnston *et. al*, 1998). Además para la enseñanza de la mecánica cuántica, en la mayoría de los libros de texto y cursos (Serway y Jewett, 2003; Michelini, 2012), se utiliza un camino histórico que por lo general inicia con el problema de la radiación del cuerpo negro (Ireson, 2000), luego el efecto fotoeléctrico y mediante la introducción de varios modelos atómicos (Petri y Niedderer, 1998) sentar las bases para la discusión del "extraño comportamiento" de la mecánica cuántica a través del principio de incertidumbre y la "dualidad onda-partícula" (Serway y Jewett, 2003). Este camino considera que existe un paralelismo entre el desarrollo histórico de una teoría y la adquisición individual del conocimiento (Tsaparlis, 2001). Sin embargo, continuamente tanto en textos como en el material didáctico dirigido a la enseñanza de la mecánica cuántica se hace un gran énfasis en la idea de que la Física cuántica es extraña y no puede ser realmente entendida (Giliberti y Lanz, 2003). El uso de este camino histórico, lo que constituye el enfoque tradicional de la enseñanza de la Física moderna, tiene como problema principal que resulta poco efectivo y es probablemente responsable de la mayoría de los problemas comunes de aprendizaje y concepciones erróneas de los estudiantes (Giliberti y Lanz, 2003; Michelini, 2012; Jones, 1991), ya que suele inducir a interpretaciones clásicas para conceptos abstractos. Por ejemplo, que la función de onda representa la trayectoria de una partícula (Koopman *et. al*, 2006).

Desde el punto de vista de los alumnos mexicanos del nivel medio superior, la mecánica cuántica es un tema complicado, incluso les parece tan ajeno que son incapaces de expresar

algún conocimiento concreto y en su mayoría dan respuestas ambiguas cuando son cuestionados al respecto (ver anexo 3).

Estas problemáticas, señaladas en la literatura (Giliberti y Lanz, 2003; Michelini, 2012; Jones, 1991; Koopman *et. al*, 2006) y expresadas también por los estudiantes, convierten a la enseñanza de la mecánica cuántica en un sujeto de estudio para la investigación educativa en ciencias que en sí mismo permite analizar también el desarrollo de la resiliencia educativa al dar evidencia concreta de cómo los estudiantes se enfrentan a un tema “complejo” y logran asimilarlo exitosamente mediante la construcción de conceptos que modifican sustancialmente su forma de concebir la realidad.

En la extensión de este capítulo se mostrará que la aparente problemática de la enseñanza de la mecánica cuántica obedece más a una falta de análisis y una exageración de su complejidad, recordemos que la mecánica newtoniana (tradicional i.e. no cuantizada) puede ser en su estudio tanto (o más) compleja que la mecánica cuántica. Por ejemplo, consideremos el cálculo del momento de inercia de un objeto que no es simétrico, la descripción de la rotación de un cuerpo mediante los ángulos Euler, el cálculo de una órbita de transferencia de Hohmann o el hasta ahora irresoluble problema de tres cuerpos que cautivó la atención de Poincaré (Viniestra, 2001). Cuando se enseña mecánica newtoniana no se parte de los últimos descubrimientos (del siglo pasado), tampoco de los problemas de frontera ni se hace hincapié en sus limitaciones o complicaciones. En cambio, se utiliza un enfoque más amable que permite al aprendiz tener la noción de que lo que está por aprender es asequible para él. Así pues, podemos decir que no se puede establecer una jerarquía de complejidad entre las diferentes áreas de la Física y por ende tampoco se puede establecer dicha jerarquía en el proceso de enseñanza-aprendizaje de cualquier área en particular. Esta idea, permite responder a la pregunta ¿Por qué enseñar mecánica cuántica en el bachillerato?, de forma análoga a como se responde ¿Por qué enseñar mecánica clásica (i.e. newtoniana)? Se fomenta el estudio y se enseña mecánica (clásica o cuántica) porque es un producto cultural que nos permite describir fenómenos naturales, entenderlos y en algunos casos particulares bajo condiciones específicas, incluso predecir su comportamiento.

Por lo tanto, en esta propuesta de intervención, que está inscrita dentro de la teoría constructivista, en lugar de seguir una perspectiva histórica se parte de sistemas cuánticos en el contexto de la vida cotidiana de alumnos para después dirigirse hacia sistemas cuánticos cada vez más abstractos que no pueden ser observados directamente por el estudiante al tener un carácter microscópico. Este camino tiene la ventaja de atender las necesidades de los alumnos con ejemplos concretos, recupera el carácter experimental de la mecánica cuántica y plantea que las aplicaciones de los principios de la mecánica cuántica no se restringen únicamente a fenómenos de índole microscópico, sino que este formalismo es válido para describir todos los sistemas cuánticos, tanto microscópicos como sus (análogos) macroscópicos (Hadzidaki et al., 2000). Cabe mencionar que este camino guía al estudiante en el desarrollo de una línea de pensamiento que le permitirá adquirir diversas competencias básicas que le serán útiles para su desarrollo académico y social (ver capítulo 5).

3.1 Un lugar para la mecánica cuántica

Con la finalidad de que esta propuesta de enseñanza se integre como una aportación valiosa y no resulte una extensión pretenciosa o barroca sobre un tema particular es necesario ubicarla dentro de los objetivos ya establecidos de un temario educativo del nivel medio superior. En atención a esta situación, las ocho sesiones (detalladas en el anexo 1) que permiten articular este trabajo están inscritas dentro del marco del temario de la materia Física III impartida en la Escuela Nacional Preparatoria (UNAM, 1996), ver tabla 13.

Tabla 13. Las ocho sesiones repartidas en tres temas de la asignatura Física III (UNAM, 1996).

Tema	Contenidos a desarrollar	Sesiones
2.12 Más allá de Newton	Valorar los alcances y limitaciones de la mecánica newtoniana y citar algunos fenómenos que la teoría newtoniana no alcanza a explicar.	1-4
5.5 La teoría atómica de la radiación	La radiación electromagnética y la luz. La hipótesis cuántica de Planck.	5-6
5.6 Modelos atómicos	Espectroscopía y el modelo atómico de Bohr.	7-8

Se debe notar que el contenido vinculado con la mecánica cuantizada aparece de forma natural y recurrente en diferentes unidades de cualquier temario de bachillerato, no hay necesidad de establecer un apartado extracurricular. Y las sesiones 1-8 son mi propuesta para abordar dicho contenido. Es así como se propone enseñar los principios de la mecánica cuántica partiendo de sistemas cuánticos cercanos a los estudiantes para desarrollar dos sistemas cuánticos más abstractos y que formalmente son reconocidos por la comunidad científica, el primero es la luz láser y en segunda instancia se tiene al átomo.

Más allá de Newton

Reconocer los límites de la mecánica newtoniana consiste en comprender los principios de la mecánica cuántica. Se utilizan diferentes sistemas cuánticos análogos propuestos por el profesor para aprender a reconocer los principales elementos de cualquier sistema cuántico e integrarlos en la descripción de un sistema cuántico mediante su vector de estado. Incluso, además de proponer nuevos ejemplos análogos, los alumnos pueden iniciar el estudio de un sistema cuántico formal: el láser.

La teoría atómica de la radiación

Ya que se ha reconocido la naturaleza cuántica de la luz se desarrollan las habilidades experimentales que permitan a los alumnos realizar un análisis cualitativo de la luz emitida por diferentes fuentes utilizando como rejilla de difracción por reflexión un disco compacto (CD) (Hecht, 2000), el cual es un dispositivo que les es familiar en su vida cotidiana, y se presenta la relación entre la frecuencia y el color. También se establece el vínculo entre la frecuencia de la luz y la energía del cuanto de energía denominado fotón (hipótesis cuántica de Planck).

Modelos atómicos

Se introduce un modelo atómico sencillo (el átomo de dos niveles) que permite explicar la emisión de fotones en una fuente monocromática. Y por último se integran todos los elementos desarrollados en sesiones previas para realizar una segunda aplicación sobre un

sistema cuántico formal: el átomo. Con el objetivo de que los alumnos identifiquen al átomo como un sistema cuántico de múltiples niveles (estados) donde la cantidad cuantizada es la energía, y que además las transiciones electrónicas entre sus diferentes estados dan lugar al espectro de emisión que caracteriza a cada elemento de la tabla periódica.

3.2 La mecánica cuántica y la mecánica continua (no cuantizada)

Una enseñanza de la mecánica cuántica que no sigue el camino histórico no es nueva. Algunos libros que tradicionalmente se utilizan tanto en la licenciatura en Física como en los posgrados relacionados con la Física, utilizan un camino “alternativo”. Por ejemplo, en el texto Mecánica Cuántica de Sakuray (1994), que en buena medida resultó ser una columna teórica para el desarrollo de este trabajo de tesis, desde los primeros capítulos permite al lector inferir que todos los sistemas cuánticos comparten tres propiedades fundamentales:

1. Son sistemas que pueden estar en ciertos estados, que llamaremos accesibles.
2. Cada estado accesible tiene una probabilidad asociada. (Esta probabilidad puede determinarse de manera teórica o puede calcularse experimentalmente).
3. Existe una cantidad cuantizada (el cuanto del sistema) que caracteriza al sistema.

Lo innovador de este trabajo consiste en proponer que estas características son independientes del tamaño del sistema cuántico. Es decir, plantearemos la existencia de sistemas cuánticos “análogos” (analogías cuánticas), que se presentan en el mundo macroscópico, lo que permite que los estudiantes los observen directamente, discutan sus propiedades y comportamientos y logren describirlos mediante las tres propiedades fundamentales antes mencionadas.

Una vez que se identifican los tres elementos principales de un sistema cuántico (estados cuantizados, probabilidad asociada y la cantidad cuantizada), si estos en verdad son esenciales, se deben poder integrar para lograr la descripción del sistema cuántico en cuestión. Esta descripción se denomina vector de estado (De la Peña, 2006), ver figura 13.

Es decir, en el vector de estado se encuentra toda la información que caracteriza a un sistema cuántico.

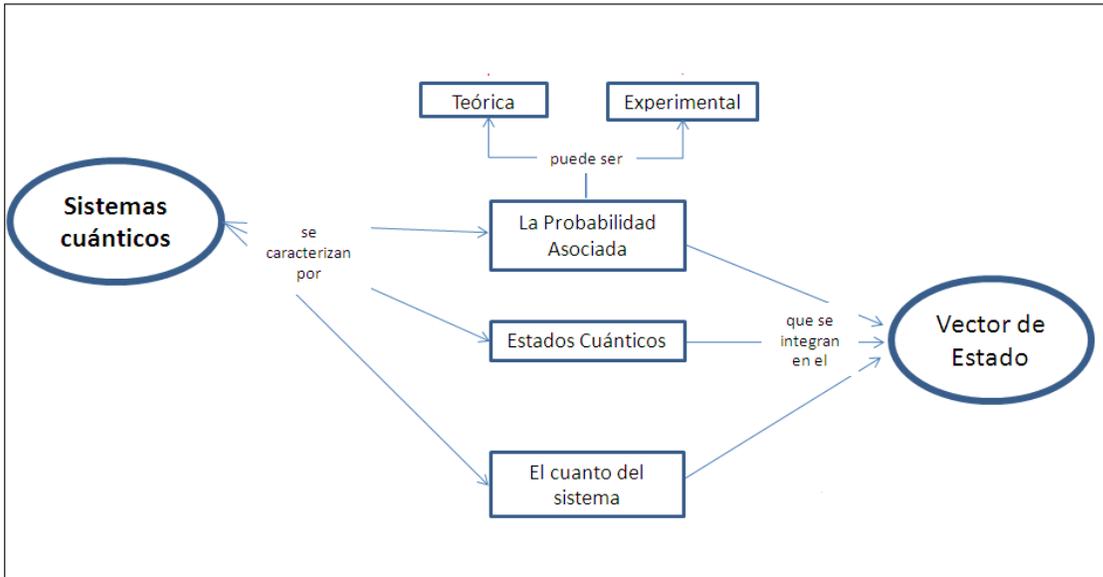


Figura 13. Se debe notar que como la probabilidad asociada se divide en teórica y experimental, al integrar las tres principales características de un sistema cuántico se obtiene una predicción teórica (vector de estado teórico) y un resultado experimental (vector de estado experimental). La convergencia entre ambos vectores de estado es una evidencia del éxito de la mecánica cuántica para la descripción de sistemas intrínsecamente probabilísticos.

Para esta integración se necesita recurrir a un lenguaje que permita escribir los estados cuánticos. Este lenguaje es la notación de Dirac (1939), en la que se expresa a los estados accesibles de un sistema cuántico mediante vectores denominados “kets” (ver figura 14).

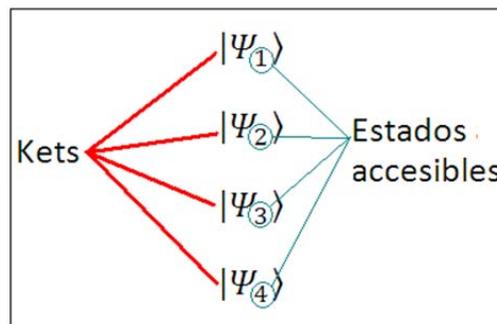


Figura 14. El uso de esta notación se le atribuye al físico británico Paul Dirac (Dirac, 1939; Feynman, 2005).

De acuerdo con los planteamientos de Sakuray (1994) y Michelini (2000; 2012) esta notación resulta más accesible para los alumnos ya que en principio se concentra en la descripción de los sistemas cuánticos utilizando sus tres elementos más importantes sin la

necesidad de utilizar una herramienta matemática complicada como podría ser el uso de la función de onda de un estado cuántico (De la Peña, 2006; Johnston *et. al*, 1998). Así en esta propuesta se utiliza un lenguaje cuántico formal pero que además tiene la virtud de ser inteligible para los alumnos que inician el estudio de la mecánica cuántica. Se espera, como hipótesis inicial, que al enseñar a los alumnos la forma de construir vectores de estado para sistemas cuánticos que les son familiares, entren en un contacto directo con un formalismo diferente al de la mecánica newtoniana, y logren aplicar los fundamentos del formalismo de la mecánica cuántica (los resultados de esta propuesta se discuten en el capítulo 4). A continuación, se presentan cada uno de los elementos que caracterizan un sistema cuántico y su relación con los ejemplos análogos desarrollados en las ocho sesiones de enseñanza (incluidas en el anexo 1).

3.2.1 Estados cuantizados (la escalera y la rampa)

La primera característica de los sistemas cuánticos restringe el campo donde estos se presentan y a su vez el tipo de sistemas que admiten una descripción de índole cuántica. Es decir, si aspiramos a describir a un sistema mediante el formalismo de la mecánica cuántica como primera condición necesaria (aunque no suficiente) sobre dicho sistema es que se puedan identificar estados accesibles, ya que un sistema cuántico solo puede “desenvolverse” entre niveles pre-establecidos a los cuales se les denomina estados accesibles. Para introducir el formalismo de los estados accesibles de un sistema cuántico, de forma que resulte amigable para un individuo no especializado en el tema puede utilizarse la siguiente analogía: al subir por una rampa (ver figura 15-derecha) el nivel que se alcanza (con respecto a la posición inicial) es una variable continua (i.e. newtoniana) pues a voluntad se puede avanzar una cantidad entera, racional o irracional (i.e. cualquier número real). En cambio, al subir por una escalera (ver figura 15-izquierda) únicamente se puede avanzar a niveles preestablecidos representados por los escalones y cada escalón corresponde precisamente a un estado cuántico que es contabilizable mediante números enteros.

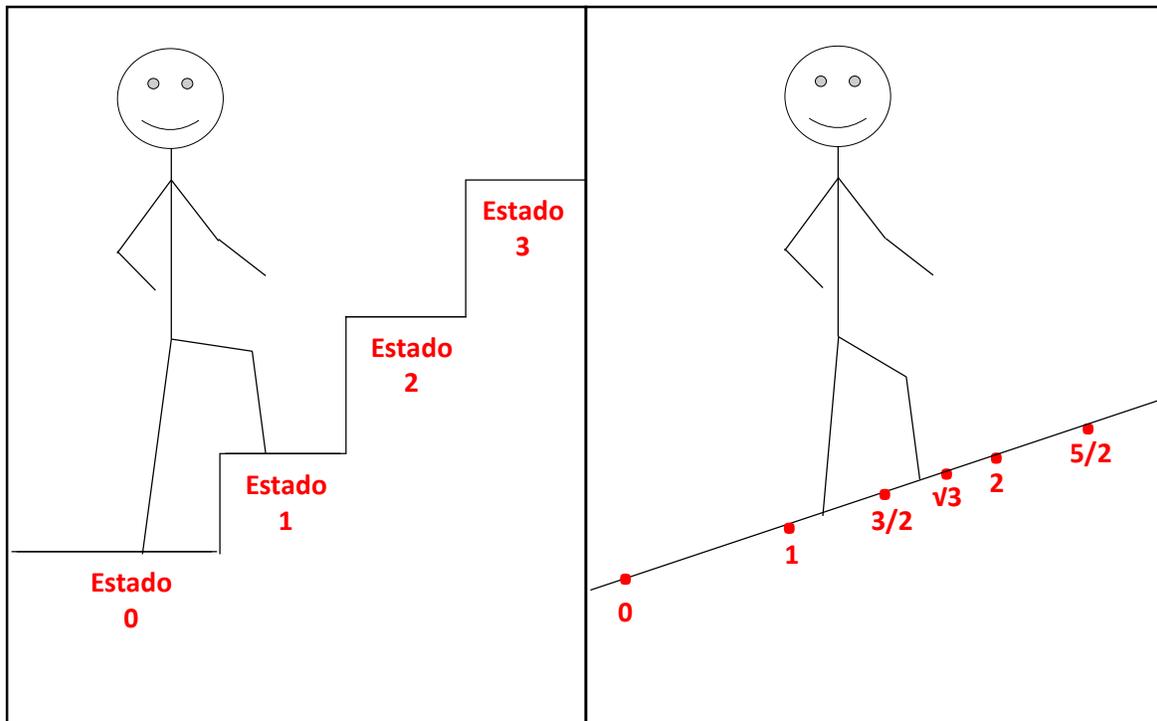


Figura 15. La mecánica cuántica es similar a subir por una escalera; a través de pasos completos y no por medio de fracciones de escalones, en cambio en la mecánica newtoniana (continua) se sube por una rampa en donde se puede colocar al pie en cualquier posición y no solamente en las posiciones marcadas por los escalones. Esta analogía se encuentra en las conversaciones personales de los hermanos Barojas Weber y coincide con la visión presentada por Cedrón et al. (2011).

Esta poderosa analogía es la expresión de una postura de enseñanza con respecto a la mecánica cuántica. En la literatura pueden encontrarse más evidencias de esta corriente de pensamiento que introduce a la cuantización mediante el uso de analogías (Campos, 2012; Cedrón et al., 2011; Michelini, 2012). Otro ejemplo que específicamente hace referencia a los estados cuantizados, postula a la mecánica cuántica como una rueda poligonal (de carro) y en este caso el número de estados cuantizados coincide con la cantidad de lados del polígono. Se debe notar que esta rueda solamente puede avanzar cantidades enteras (lados) y así el desplazamiento se convierte en una cantidad cuantizada (ver figura 16). En este caso, para representar a la mecánica continua (newtoniana) se utiliza una rueda continua, es decir circular, ya que con ella se puede avanzar cualquier cantidad real: entera, natural o irracional (Campos, 2012).

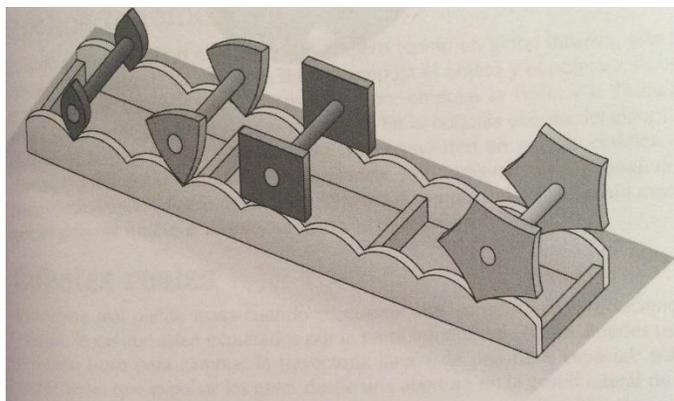


Figura 16. Ruedas cuantizadas utilizadas por Campos (2012). Cada rueda solamente puede avanzar cantidades enteras (lados) y así el desplazamiento se convierte en una cantidad cuantizada.

3.2.2 La probabilidad asociada (Dios sí juega a los dados)

Una vez que se ha establecido la existencia de estados se elige convenientemente seguir por este camino de las analogías y mostrar a los estudiantes la existencia de sistemas donde no solamente se reconozcan con claridad estados cuánticos, sino que también de forma clara muestren la asociación entre la primera característica fundamental (estados) y la probabilidad (segunda característica fundamental).

La segunda característica de la mecánica cuántica ha generado una gran controversia a lo largo de los años pues la falta de certeza absoluta constituye un cambio de paradigma en la Física, que hasta antes de la mecánica cuántica se caracterizaba por descripciones de tipo deterministas. Incluso personalidades como el premio Nobel Albert Einstein (1921) se resistieron a la mecánica cuántica, ya que consideraban que su carácter probabilístico se originaba en la falta de completitud de dicha teoría. Lo anterior queda registrado en su famosa frase: *“Dios no juega a los dados”*, alusiva al carácter probabilístico de la mecánica cuántica. Sin embargo, debido a la precisión de sus resultados y predicciones, la mecánica cuántica hoy en día es considerada como una de las teorías más exitosas que se han desarrollado en el campo de la Física (Feynman, 1988).

Inmediatamente después del párrafo anterior que enaltece el éxito de la mecánica cuántica surge una pregunta ¿Cómo hacer que un estudiante coparticipe del éxito del formalismo cuántico para describir un sistema intrínsecamente probabilístico? (Martin, 1974) Para estudiantes de grados superiores tal vez basta la lectura y análisis del devenir histórico por

el cual transcurrió la mecánica cuántica para resolver satisfactoriamente problemas como la radicación del cuerpo negro o el espectro de emisión de un átomo (McDermott *et al.*, 2000). Pero para los estudiantes del nivel medio se necesita (y ellos lo piden) una experiencia más concreta con la mecánica cuántica (ver las conclusiones del capítulo 4). Siguiendo un planteamiento alternativo al histórico se elige utilizar un sistema de dos estados para introducir al estudiante en el formalismo cuántico. Esta idea se basa en el primer capítulo del libro Mecánica Cuántica de Sakuray (1994) donde el primer sistema de dos estados que se presenta es el espín del electrón. Sin embargo, dicho sistema es bastante abstracto ¿Quién ha observado en su vida cotidiana este sistema? ¿Dónde se puede encontrar un sistema cuántico o cuando menos un sistema macroscópico que sea análogo al espín? Esta situación motivó la búsqueda de un sistema cuántico de dos estados que fuese lo suficientemente didáctico como para introducir a los alumnos de bachillerato en el formalismo de la mecánica cuántica. Dicho sistema fue encontrado en un sitio inesperado; el bolsillo de cada estudiante. De esta forma el primer sistema cuántico de dos estados utilizado es la moneda (ver figura 17).



Figura 17. El sistema cuántico análogo (analogía cuántica) que se propone para introducir la característica probabilística de la mecánica cuántica es: una moneda.

Al lanzar una moneda no se puede predecir con toda certidumbre, utilizando mecánica newtoniana, si esta caerá águila o sol. Por lo tanto, al utilizar la mecánica clásica no podemos describir adecuadamente el sistema y no es posible ir más allá de sus condiciones iniciales (masa, momento, etc.). En cambio, al pasar a una descripción probabilística esta aparente limitación para describir a la moneda desaparece e incluso se tiene que la probabilidad calculada teóricamente coincide con la probabilidad obtenida (de forma

experimental) después de realizar un número suficiente de experimentos (lanzamientos de moneda).

Para determinar la probabilidad teórica (P_{teo}) se calcula la razón entre los casos favorables y los casos posibles (Martínez et al., 2008).

$$P_{teo} = \frac{\text{casos favorables}}{\text{casos posibles}}$$

Y ya que para este sistema un experimento consiste en tirar una moneda y medir (observar) si cae águila o sol, la probabilidad experimental (P_{exp}) se puede calcular utilizando la definición de probabilidad frecuencial.

$$P_{exp} = \frac{\text{frecuencia del evento}}{\text{experimentos totales}}$$

En la siguiente tabla se identifican los estados accesibles y las probabilidades asociadas a cada estado, donde la probabilidad experimental fue calculada mediante veinte lanzamientos.

Tabla 14. Probabilidad teórica y experimental para la moneda.

ESTADOS	KETS	PROBABILIDAD TEÓRICA	PROBABILIDAD EXPERIMENTAL
Sol	$ S\rangle$	$\frac{1}{2} = 0.5$	0.55
Águila	$ A\rangle$	$\frac{1}{2}$	0.45

El uso de una analogía cuántica, como la moneda, permite mostrar de forma natural la necesidad de recurrir al uso de la probabilidad para describir un sistema cuántico, y dado que la probabilidad de un evento tiene una forma teórica y otra experimental, el uso de este tipo de sistemas análogos brinda la posibilidad a un estudiante de realizar experimentos. De esta forma, el alumno pasa de ser un espectador del devenir de la mecánica cuántica a tener un rol activo donde él es participe de esta rama científica y puede

con sus propias mediciones corroborar la validez de los fundamentos de la mecánica cuántica. Esto resulta evidente en la tabla 14 donde la diferencia porcentual entre ambas probabilidades (teórica y experimental) es de apenas un 10%.

Para una primera generalización de los elementos desarrollados con el sistema de dos estados (moneda), se utiliza un sistema de seis estados que también le resulta familiar al alumno, este es: el dado (ver figura 18).



Figura 18. El dado de seis caras es el siguiente sistema análogo que utilizan los estudiantes

En este sistema (dado de seis caras) la probabilidad teórica está repartida de forma homogénea entre los seis estados, como $1/6$, y la probabilidad experimental converge a este valor cuando se realiza un número suficiente de lanzamientos (alrededor de 200). Nuevamente, este sistema permite enfatizar el hecho de que las variables continuas como la masa y la aceleración (elementos primordiales en la segunda ley de Newton) no permiten la descripción de un sistema intrínsecamente probabilístico, ya que no importa que tan fuerte se lance el dado la probabilidad de obtener cada cara siempre resulta de $1/6$, es decir este sistema no se inmuta ante cambios “dramáticos” en cuanto a las condiciones iniciales. Hasta la forma del dado “carece” de significado para una descripción cuántica ya que siempre y cuando se tengan seis estados equi-probables se tendrán sistemas cuánticos equivalentes. Así desde la óptica de la mecánica cuántica el “dado esférico” (de seis estados, ver figura 19) y el dado cúbico son totalmente equivalentes y los datos experimentales obtenidos con cada uno son indistinguibles los unos de los otros.



Figura 19. El dado esférico de seis estados consiste en una esfera que en su interior contiene un balón que puede colocarse en seis diferentes posiciones que resultan de la intersección de los tres ejes canónicos ortogonales con la superficie de la esfera tomando como origen el centro de la esfera. Cada vez que se lanza la esfera, el balón en el interior tiene únicamente seis posibilidades para ubicarse, de este modo la probabilidad de obtener cada valor es un $1/6$.

Cabe señalar que aumentar el número de estados y explorar sistemas similares a un dado con más caras ya no aportaría algo nuevo, ya que el formalismo y los experimentos tendrían básicamente la misma estructura del sistema cuántico dado de seis estados. Por lo tanto, la siguiente generalización no consiste en aumentar el número de estados sino en construir un sistema cuántico que resulte accesible a los alumnos cuya distribución de probabilidad no sea homogénea. Dicho sistema cuántico puede obtenerse simplemente modificando un dado regular para construir el sistema cuántico “dado cargado” (ver figura 20).



Figura 20. Para construir un dado cargado se toma un dado de seis caras y en el interior de una de las caras se añade un peso.

Obtener la probabilidad teórica para un estado del dado cargado no resulta trivial, pero al realizar una serie de experimentos fácilmente se puede obtener la probabilidad

experimental, de esta forma es evidente que en la mecánica cuántica el “experimento manda” y antecede (la mayoría de las veces) a la teoría. Esto coincide con la esencia del camino histórico que siguió esta rama de la Física (Serway y Jewett, 2003). El uso de sistemas análogos como la moneda y el dado fue presentado en el 2º congreso de estudiantes de posgrado (2012) de la UNAM en la modalidad de cartel. Este trabajo titulado “Dios no juega a los dados... pero nosotros sí” se incluye en el anexo 6.

3.2.3 El cuanto del sistema (de los gotones hacia los fotones)

Por último, se tiene a la cantidad cuantizada. Dicha cantidad caracteriza al sistema ya que todas las mediciones que de ella se hagan solo serán múltiplos de una cantidad fundamental. Por ejemplo, en el caso de la luz, Einstein denominó fotón al cuanto de energía que la conforma, así un haz luminoso es una colección de fotones (cuyo color y energía dependen de la frecuencia) y al realizar una medición cuántica de la luz se obtiene una cantidad entera de fotones. En nuestra vida cotidiana estamos lejos de percibir a la luz como un fenómeno cuantizado, en cambio vemos a la luz como un haz continuo y al sentirlo sobre la piel no percibimos la multiplicidad de los fotones que inciden en ella. Surge entonces la pregunta ¿Quién ha visto un fotón (de forma individual)? La respuesta puede resultar evasiva e incluso puede llevarnos a cuestionar la fiabilidad de nuestros ojos (detectores naturales). Para encontrar una salida a este aparente predicamento en lugar de buscar una solución definitiva se recurre nuevamente a la analogía, a la relación entre lo que es el objeto y lo que necesitamos entender de él.

El comportamiento corpuscular (es decir cuántico) de la luz se escapa de nuestra percepción tradicional de la realidad, por lo cual se propone recurrir a una analogía que permita reconocer cómo se describe a la luz en forma cuántica. El camino en este sentido ya ha sido trazado por lo que basta reconocerlo y aprovecharlo. Nos inspiramos en una poderosa analogía sobre la emisión de la luz láser y la caída de gotas de lluvia. Así, mientras el láser es una fuente de fotones cuya probabilidad de emisión corresponde a la distribución de Poisson, una nube es una fuente de "gotones" (cuantos de agua i.e. gotas) cuya probabilidad de emisión también corresponde a la distribución de Poisson (De la Peña, 2006). Este ejemplo armoniza los tres elementos principales del sistema cuántico luz láser (fuente de

fotones) con los tres elementos principales del sistema cuántico fuente de gotones (nube). Ambos sistemas tienen la misma distribución de probabilidad, los mismos estados accesibles correspondientes a los estados de número e incluso la detección de los cuantos (fotones y gotones) resulta similar (ver anexo 4). Y así como los datos experimentales de un dado cúbico y de un dado esférico son indistinguibles entre sí, los datos experimentales que provienen de una fuente de gotones (nube) y una fuente de fotones (láser) también son indistinguibles entre sí. Por lo tanto, el primer sistema cuántico formalmente reconocido por la comunidad científica que los estudiantes pueden describir en su totalidad mediante los tres elementos esenciales (estados, probabilidad asociada y cuánto) es la luz láser. Existe una doble ventaja en guiar a los estudiantes por el “camino de la luz”, se alcanza un primer clímax ya que se pasa de la descripción de sistemas análogos cercanos a ellos para lograr describir un sistema cuántico “real” desde el punto de vista académico. La segunda y tal vez más importante consecuencia de elegir estudiar al sistema cuántico constituido por los fotones, es que la luz es la clave para entender al sistema cuántico por excelencia: el átomo.

A mediados del siglo XIX los químicos observaron que cuando se le proporciona energía a un elemento químico, éste emite luz en un espectro específico de frecuencias que es característico del elemento en cuestión. Por ejemplo, para el átomo de Hidrógeno se identificaron las series de Lyman, Balmer, Paschen y Brackett, de las cuales solamente la serie de Balmer tiene frecuencias que se encuentra dentro del espectro visible (Serway y Jewett, 2003), ver figura 21.



Figura 21. Imagen de la serie de Balmer para el átomo de hidrógeno. Solamente las primeras cuatro líneas (de derecha a izquierda) están dentro del espectro visible, las otras frecuencias emitidas son ultravioletas.

Una vez que se ha medido la frecuencia de cada línea de emisión inmediatamente surge la pregunta ¿Por qué el átomo emite únicamente en unas cuantas frecuencias (i.e. se tienen

frecuencias cuantizadas)? La luz deja de ser el objeto de estudio y en cambio se convierte en el instrumento que nos permitirá conocer al átomo desde un punto de vista cuántico. Siendo habitantes de un planeta que le debe si no todo, por lo menos la chispa de la vida a la energía que le brinda la luz de su estrella (el Sol), resulta innegable que si la luz tiene “algo” ese “algo” es energía. Formalmente lo anterior queda establecido por la ecuación de Planck (ver figura 22).

$$E \propto \nu \longrightarrow E = h\nu$$

Figura 22. La energía de los cuántos de luz, denominados fotones, es proporcional a la frecuencia.

La relación de Planck plantea que la energía de los cuantos que constituyen el fenómeno que conocemos como luz es proporcional a la frecuencia y la constante de proporcionalidad que establece esta igualdad es la constante de Planck: $h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js, misma que puede ser medida experimentalmente con materiales de bajo costo como se muestra en el anexo 5 (Lawrence, 1996; Ken Dobson et al., 2000; Ramos, 2012). Gracias a la ecuación de Planck, se puede reconocer la estrecha relación entre la luz, específicamente su frecuencia y la energía, pero falta establecer el mecanismo que permite hacer el intercambio entre energía y luz.

Para explicar cómo la energía se transforma en luz de una sola frecuencia (i.e. monocromática) se puede utilizar un modelo de dos niveles energéticos. En este sistema la cantidad cuantizada es la energía (E), los dos estados de este sistema son: el estado base y el estado excitado, y las probabilidades asociadas a estos estados se denominan P_1 y P_2 respectivamente.

Sin embargo, para ser consecuentes y seguir por el camino de la analogía se tiene como exigencia el presentar de forma concreta dicho sistema de dos niveles a los estudiantes. Se necesita entonces un sistema análogo que emita luz y en el que se distingan con claridad dos estados “prendido” y “apagado” análogos a “base” y “excitado”. Esta directriz del camino de las analogías se satisface mediante el uso de los “*light sticks*” (varas luminosas), ver figura 23.



Figura 23. Varas luminosas de diferentes tonalidades (Izquierda). Cuando se rompe la cápsula interior de vidrio y se mezcla las sustancias contenidas en el interior del tubo de plástico, se lleva a cabo una reacción química que produce fluorescencia (Derecha)(Harris, 2001).

En las varas luminosas se tienen un estado donde se emite luz (prendido) y otro donde no se emite (apagado). Este sistema además transita del estado “prendido” hacia el “apagado” por lo cual la probabilidad de tener al sistema en cada estado P_1 para el estado “prendido” y P_2 para el estado apagado, respectivamente, es una función que explícitamente depende del tiempo. Por ejemplo, para la vara roja $P_1(t)$ tiende a 0 para un tiempo mayor a 12 horas, mientras que $P_2(t)$ tiende a 1 para un tiempo mayor a 12 horas, ya que de acuerdo al fabricante la emisión de luz dicho *light stick* tiene una duración de aproximadamente 12 horas.

La vara luminosa (*light stick*) es el primer sistema cuántico análogo dinámico con el que interactúan los estudiantes, el adjetivo “dinámico” hace referencia al hecho de que las probabilidades asociadas dependen explícitamente del tiempo lo cual corresponde al formalismo cuántico de Schrödinger (Sakuray, 1994). Aunque el formalismo cuántico de Schrödinger y Heisenberg pueden ser expresados mediante la notación de Dirac (i.e. kets) (Tsaparlis, 2001) se debe reconocer que una de las principales diferencias entre ambas descripciones cuánticas es que en la primera la dependencia temporal está en la probabilidad asociada a cada estado cuántico, mientras que en la segunda la dependencia

temporal se encuentra en los estados cuánticos (Cohen y Bernard, 1977; Hoehn *et. al*, 2014).

La principal aportación de este sistema análogo es la “transición”, es decir, este sistema permite establecer que la emisión de luz se debe a un mecanismo dinámico en el que se realiza una transición entre dos estados energéticos. Esta característica permite a su vez utilizar el *light stick* para introducir el modelo atómico de estados energéticos más sencillo: el átomo de dos niveles.

El átomo de dos niveles es un modelo atómico que tiene un sólo electrón que puede hacer transiciones entre los dos únicos estados del sistema (Aboites y Vega, 2002), ver figura 24.

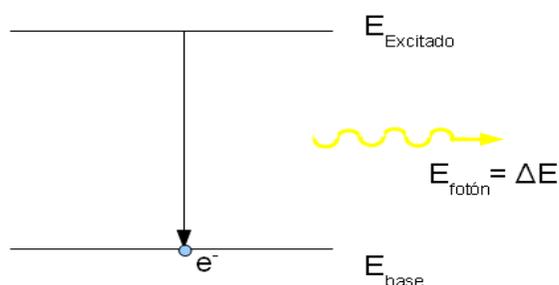


Figura 24. Átomo de dos niveles, E_{excitado} corresponde a la energía del estado excitado, mientras que la cantidad E_{base} es la energía del estado base. La energía del fotón liberado, cuando el electrón hace una transición entre ambos estados, corresponde exactamente a la diferencia de energía $\Delta E = E_{\text{excitado}} - E_{\text{base}}$

Cuando el electrón hace una transición del estado excitado al estado base, libera el excedente de energía en forma de luz monocromática (un fotón con una sola frecuencia) cuya energía corresponde exactamente a la diferencia energética entre ambos niveles. Por lo tanto, el espectro de emisión de un átomo toma una nueva faceta. Cada línea de emisión, aparentemente arbitraria, se convierte en la más sólida evidencia de la existencia de los niveles de energía atómicos. Es decir, es posible utilizar el espectro de emisión de un átomo para reconstruir los niveles energéticos que constituyen su estructura. Por ejemplo, en la figura 25 se representan los niveles energéticos establecidos a partir de las líneas de emisión del espectro del átomo de Hidrógeno.

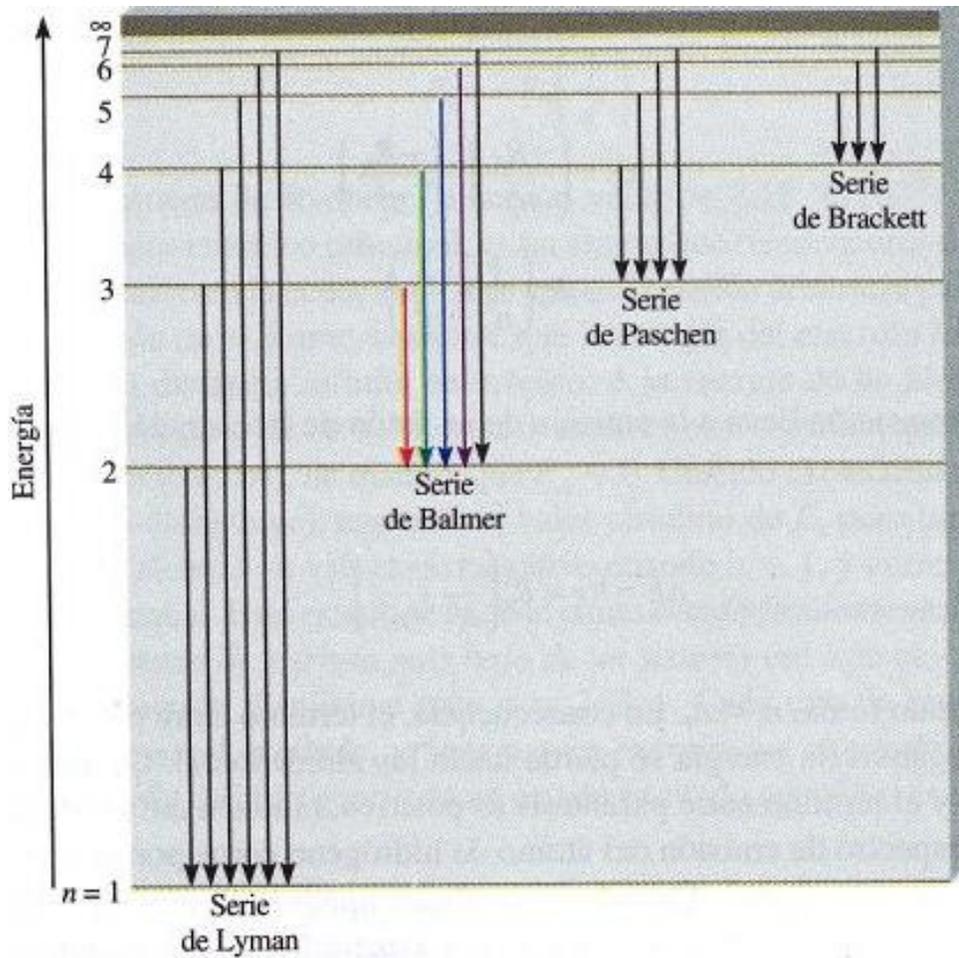


Figura 25. Las transiciones electrónicas entre los diferentes niveles de energía del átomo de hidrógeno definen su espectro de emisión. Las transiciones de estados superiores hacia los estados 1, 2, 3 y 4 se denominan series de Lyman, Balmer, Paschen y Brackett. Solamente la serie de Balmer se encuentra dentro del espectro visible (Serway y Jewett, 2003).

El análisis de los espectros de emisión de cada átomo se denomina espectroscopia atómica, este es el procedimiento que permite establecer la estructura electrónica de cada átomo de la tabla periódica, ver figura 26.

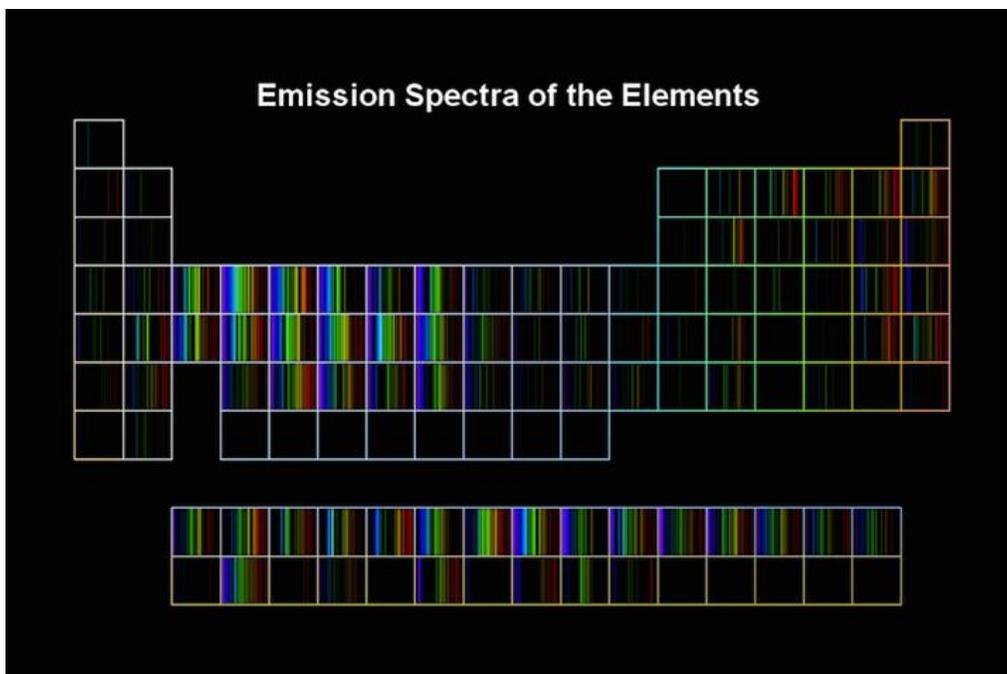


Figura 26. Se presenta la tabla periódica de los elementos de acuerdo a sus espectros de emisión (Gavira, 2014).

El último y ambicioso objetivo de esta propuesta consiste en que alumno no solo reconozca al átomo como un sistema cuántico de múltiples niveles que admite transiciones energéticas. También se pretende que el estudiante pueda tomar el rol de un espectroscopista (cualitativo), es decir, que sea capaz de identificar y esbozar los diferentes niveles de energía de al menos un átomo, utilizando la información de su espectro de emisión (ver sesión 8, anexo 1). Para conseguir dicho objetivo bien pudo utilizarse como fuente de luz una lámpara de hidrógeno; sin embargo, para respetar la visión de esta propuesta de intervención que busca una enseñanza de la mecánica cuántica de tal forma que resulte cercana a la vida cotidiana del estudiante, se eligió utilizar como fuente de emisión una lámpara de las que iluminan la calle y por lo tanto el espectro de emisión a analizar fue el de la lámpara amarilla del alumbrado público, ver figura 27.



Figura 27. Espectro de emisión de la lámpara de sodio (a alta presión) que forma parte del alumbrado público de la ciudad de México (Villalobos, 2008).

De esta forma todos los días, o mejor dicho cada noche, al encenderse las luces del alumbrado público toda la ciudad se convierte en un laboratorio en el que el alumno puede realizar experimentos de mecánica cuántica (espectroscopia atómica) y tener un contacto directo con esta aparentemente lejana rama de la Física. La espectroscopia cualitativa de la lámpara de sodio del alumbrado público fue presentada en el 3° Congreso de estudiantes de posgrado (2013) de la UNAM en la modalidad de cartel. Este trabajo, titulado “El camino de los espectroscopistas”, se incluye en el anexo 6.

3.3 Conclusiones

Cuando un alumno aprende a identificar los elementos principales que constituyen a un sistema cuántico (estados accesibles, probabilidad asociada y la cantidad cuantizada), cambia radicalmente la forma en la que percibe un fenómeno físico (ver capítulo 4), e incluso algo tan cotidiano como la lluvia puede ser percibido como un fenómeno de índole cuántico. Es decir, se consigue el ideal que Shankar (1994) expresa en su frase *“Una vez que hemos mordido la manzana cuántica nuestra inocencia se ha perdido para siempre”* (ver figura 28).

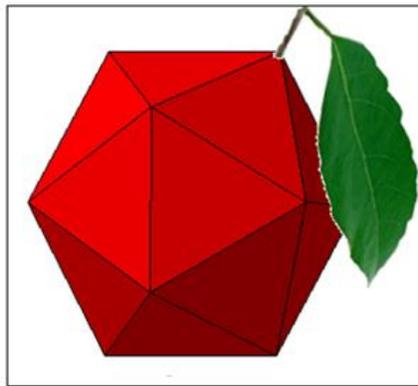


Figura 28. En la imagen se muestra un poliedro (icosaedro) como representación de la “manzana cuántica”. La cantidad cuantizada en este sistema es el número de caras, además cada cara representa un estado cuántico y la probabilidad de obtenerlo es de $1/20$.

Los estudiantes utilizan la notación de Dirac además de identifican los tres elementos principales que caracterizan a los sistemas cuánticos análogos (analogías cuánticas), también tienen la capacidad de integrar estos elementos para describir un sistema cuántico mediante su vector de estado (ver figura 29). Es decir, se establece una descripción cuántica que se fundamenta particularmente en cantidades que en principio son observables, lo cual coincide con la esencia del trabajo de 1925 escrito por Heisenberg (Koopman *et. al*, 2006).

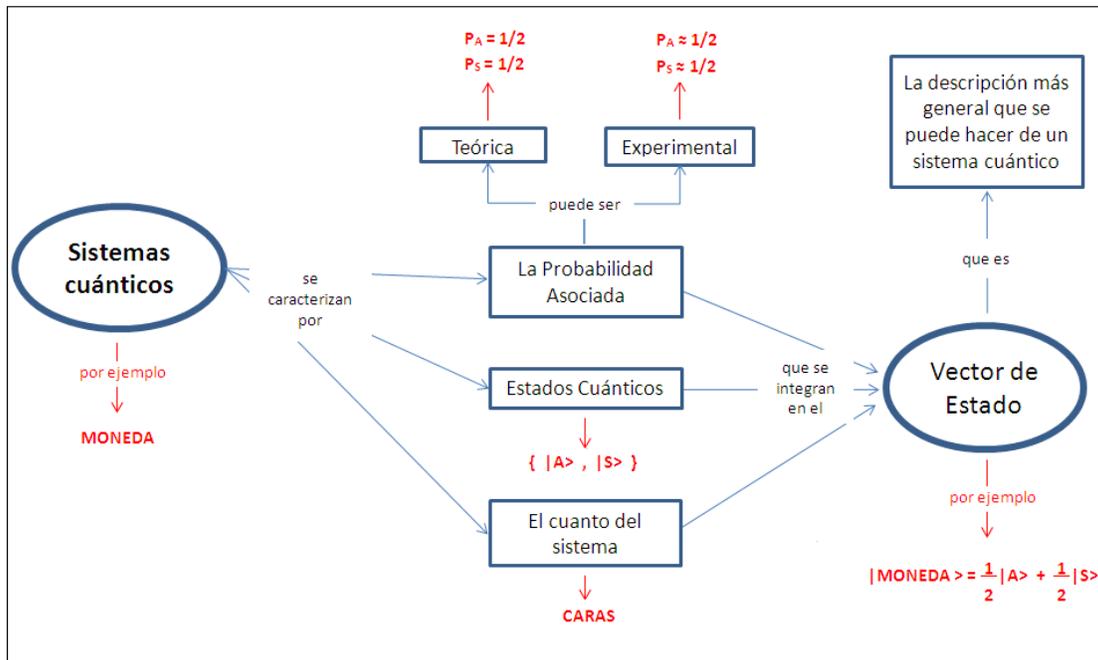


Figura 29. El vector de estado constituye la descripción más general de un sistema cuántico ya que es la síntesis de sus tres elementos principales: estados accesibles, cantidad cuantizada y probabilidad asociada. Formalmente cada vector de estado debe estar normalizado, dicha normalización surge como una necesidad cuando se calculan valores esperados de operadores cuánticos vinculados con observables físicas (Sakuray, 1994), pero dado que en esta propuesta no se incluye el uso de operadores cuánticos, los vectores de estado que construyen los estudiantes se mantienen sin normalización.

Esta propuesta de enseñanza tiene la ventaja de recuperar el carácter experimental de la mecánica cuántica, los alumnos pueden realizar experimentos cuánticos sencillos (trabajos prácticos) para determinar la probabilidad experimental asociada a cada estado. Estos trabajos prácticos se presentan a detalle en las sesiones 1-8 en el anexo 1, mientras que en la tabla 15 se muestra un resumen de las ocho sesiones.

Tabla 15. Temática desarrollada en las sesiones 1-8.

Título	Resumen
1. Sistemas cuánticos de dos estados (monedas)	Los alumnos identifican dos elementos que caracterizan a los sistemas cuánticos (estados y probabilidades) utilizando un sistema cuántico familiar (sistema cuántico moneda).
2. Sistemas cuánticos de seis estados (dados)	Los alumnos realizan una primera generalización al analizar un sistema con un mayor número de estados accesibles, aplicando los conceptos de estado cuántico y probabilidad desarrollados para el sistema de dos estados (moneda) al sistema cuántico de seis estados (dado de seis caras). Además, se introduce la notación de Dirac para nombrar los seis estados del sistema cuántico dado. Por último, los alumnos proponen un nuevo sistema cuántico de su vida cotidiana identificando los estados accesibles y sus respectivas probabilidades asociadas.

<p>3 y 4. Vectores de estado</p>	<p>Los estudiantes integran la triada: cuantos, estados y probabilidades asociadas, en el vector de estado. Además, comparan la predicción cuántica (vector de estado teórico) con el comportamiento experimental del sistema (vector de estado experimental).</p> <p>Los alumnos inician el estudio de sistemas cuánticos con una distribución de probabilidad no homogénea por lo cual construyen un dado cargado, realizan una serie de experimentos y determinan su vector de estado experimental.</p> <p>Para finalizar la sesión, se utiliza un elemento concreto: gotas de agua, como la cantidad cuantizada denominada gotón. Con este elemento concreto (gotón) se establece una analogía para desarrollar un concepto abstracto; la cantidad cuantizada denominada fotón, y de esta forma lograr la descripción cuántica de la luz.</p>
<p>5. Espectros de emisión</p>	<p>Los estudiantes desarrollan la capacidad de utilizar un instrumento cotidiano constituido por un disco compacto (rejilla de difracción por reflexión) como un espectrómetro cualitativo, además utilizan la frecuencia para identificar objetivamente el color de cada espectro luminoso.</p>
<p>6. Frecuencia y energía de un fotón</p>	<p>Los alumnos establecen la relación entre el color, la energía y la frecuencia de los fotones. En primera instancia, se define el concepto de frecuencia con sus respectivas unidades de medida, una vez definido dicho concepto se utiliza una analogía entre la frecuencia de una onda mecánica y la frecuencia de una onda electromagnética para establecer una relación de proporcionalidad entre la energía y la frecuencia de cada fotón.</p>
<p>7. Modelo atómico de dos niveles</p>	<p>Se propone el modelo del átomo de dos niveles para explicar cómo al realizar una transición electrónica entre el estado base y excitado se logra la emisión de un fotón cuya energía corresponde a la diferencia entre ambos estados energéticos.</p> <p>Además, se generaliza el concepto de probabilidad y por primera vez se presenta un sistema cuántico cuya probabilidad es una función temporal, esta generalización concuerda con la descripción propuesta por Schrödinger donde la dependencia temporal se incluye en la probabilidad y no en los estados cuánticos.</p>
<p>8. Modelo atómico de múltiples niveles</p>	<p>En la última sesión los alumnos aplican los múltiples conceptos que han desarrollado en las sesiones previas para logran identificar un átomo a partir de su espectro de emisión y además son capaces de inferir un modelo de cuantización de energía que justifica este espectro emisión de fotones (con diferentes frecuencias) que se origina a partir de las transiciones electrónicas entre diferentes niveles atómicos.</p> <p>Cabe señalar que el espectro de emisión que utilizan los estudiantes es de índole experimental y se obtiene al analizar la luz de una lámpara (de sodio a alta presión) del alumbrado público.</p>

Es preciso enfatizar, que la relación entre la teoría y el experimento permite que los estudiantes sean copartícipes de lo exitoso que resulta el formalismo de la mecánica cuántica en la descripción de sistemas cuantizados, ya que existe una correlación entre la predicción teórica y el resultado experimental, lo cual resulta evidente al comparar directamente los vectores de estado (teórico y experimental) de un sistema cuántico. Por

ejemplo, para el caso de la moneda la diferencia entre ambos vectores de estado (desde el punto de vista de las probabilidades asociadas) es menor al 10% (ver figura 30).

$$|\Psi_{teó}\rangle = \frac{1}{2}|S\rangle + \frac{1}{2}|A\rangle$$

$$|\Psi_{exp}\rangle = 0.55|S\rangle + 0.45|A\rangle$$

Figura 30. Con la información de veinte lanzamientos (ver la tabla 14) se construye el vector de estado experimental que le corresponden al sistema cuántico de dos estados (moneda). Este vector se corresponde con la predicción teórica (vector de estado teórico) con una diferencia de apenas 10%.

Introducir a los alumnos en el formalismo de la mecánica cuántica escrito mediante la notación de Dirac permite que los estudiantes no se limiten a la descripción de sistemas cuánticos análogos, sino que también puedan describir un sistema cuántico formal, la luz láser, utilizando datos experimentales reales que fueron presentados (en la modalidad de cartel) en el LI Congreso Nacional de Física organizado por la Sociedad Mexicana de Física en el año 2008 (Martínez et al., 2008), dicho trabajo se incluye en el anexo 6.

Es preciso notar que al utilizar analogías cuánticas y la notación de Dirac se tienen las bases para establecer una descripción cuántica semejante a la de Schrödinger donde la dependencia temporal de los vectores de estado se encuentra en la probabilidad. En particular los estudiantes analizan el sistema cuántico dinámico correspondiente al *light stick*, cuyo vector de estado depende explícitamente del tiempo (ver figura 31).

$$|\psi\rangle = P_1(t)|E_1\rangle + P_2(t)|E_2\rangle$$

Figura 31. En el *light stick* la probabilidad de emitir luz disminuye conforme se incrementa el tiempo, a su vez la probabilidad de no emitir luz aumenta hasta alcanzar su máximo valor (correspondiente a un entero).

El sistema análogo dinámico que emite luz (*light stick*) es una herramienta didáctica para introducir al alumno en el estudio del átomo de dos niveles; así en lugar de solamente describir la luz monocromática se pasa a proponer un mecanismo que responde a la pregunta: ¿Cómo se produce la luz? Es decir, mediante un proceso científico se pasa de la

descripción de un fenómeno (la luz monocromática) para llegar a la explicación del mismo, mediante un modelo teóricamente plausible (el átomo de dos niveles).

Una enseñanza de la mecánica cuántica que sigue “el camino de la luz” (i.e. el estudio de la luz como sistema cuántico) resulta fructífera ya que al establecer un mecanismo que produce luz monocromática (debido a una transición electrónica entre los niveles de energía base y excitado), se puede iniciar al estudiante en el análisis del sistema cuántico por excelencia: el átomo, desde el punto de vista de su espectro de emisión.

Cada átomo de la tabla periódica emite un espectro cuantizado de frecuencias característico, y al generalizar el modelo propuesto para una fuente monocromática puede explicarse la emisión de cada una de estas frecuencias mediante la transición electrónica entre dos diferentes niveles energéticos. De esta forma el átomo es descrito como un sistema cuántico donde la cantidad cuantizada es la energía y los estados accesibles son los diferentes niveles energéticos (Jones, 1991). Cabe señalar que la explicación de los espectros atómicos es uno de los mayores éxitos que tuvo la mecánica cuántica el siglo pasado. Debido a este hecho trascendental, esta propuesta de intervención (tesis MADEMS) culmina al establecer las condiciones que permiten a los alumnos desarrollar las habilidades experimentales necesarias para el análisis del espectro de emisión de fuentes atómicas de su entorno (ver sesión 8 en el anexo 1) y además puedan proponer un modelo energético de estados cuantizados que corresponda a dicha fuente luminosa (ver capítulo 4).

Capítulo 4

Resultados de la implementación de la estrategia didáctica

“Einstein había rechazado la idea de que Dios juega a los dados. Sin embargo, todas las evidencias indican que Dios es un jugador impenitente.”

S. Hawking (2001)

4.0 Introducción

En las ocho sesiones de enseñanza de los principios de mecánica cuántica (ver anexo 1), cuya duración fue de 50 minutos cada una, participaron 58 alumnos de 4º año inscritos en la Escuela Nacional Preparatoria número 7 “Ezequiel A. Chávez” cuyas edades se encuentran entre los 14 y 16 años. Los resultados obtenidos al desarrollar las sesiones se clasifican en tres categorías: disciplinarios, resilientes y pedagógicos. Cabe señalar que todas las evidencias recopiladas en este capítulo se toman directamente y sin modificación alguna, de las evaluaciones realizadas por los estudiantes.

Los estudiantes en quipos realizaron tres tipos de evaluaciones: diagnóstica, formativa y sumativa. La evaluación diagnóstica permitió conocer las ideas previas de los alumnos acerca de la mecánica cuántica, las evaluaciones formativas tuvieron como finalidad reforzar los conceptos desarrollados con preguntas o actividades vinculadas a ejemplos trabajados durante las sesiones y las evaluaciones sumativas pretendían la aplicación de conceptos con la finalidad de que los alumnos aportaran nuevos ejemplos en contextos científicos o que lograran generalizaciones.

En la tabla 16, se establece la correspondencia entre las evaluaciones y la modalidad de aplicación; presencial o extra clase en el blog del curso (www.grup404.blogspot.mx).

Tabla 16. Relación entre las evaluaciones y las sesiones

Sesión	Evaluación	Forma de Aplicación
1	Diagnóstica	Durante la clase
2	Formativa	Extra clase (Blog)
3 y 4	Sumativa	Extra clase (Blog)
5	Formativa	Durante la clase
6	Sumativa	Extra clase (Blog)
7	Formativa	Durante la clase
8	Sumativa	Durante la clase

Cada una de las evaluaciones es recopilada en el anexo 2. Por otra parte, en el anexo 3 se encuentran algunos ejemplos representativos de las respuestas proporcionadas por los alumnos, estas exhiben su desempeño general, logros y limitaciones.

Cabe señalar, que el uso de una herramienta tecnológica como el blog (ver figura 32) coincide con la competencia genérica *CG4. Maneja las tecnologías de la información y la comunicación para obtener información y expresar ideas* (ver tabla 12, capítulo 2), que forma parte en la RIEMS (SEP, 2008). El ejercicio de dicha competencia se analiza en el apartado 4.3.2.

Sesión 2. Mecánica Cuántica

1.- ¿Qué elementos consideras importantes para describir un sistema cuántico?

2.- Juan tira un dado y obtiene un 4. ¿En su siguiente tiro obtendrá nuevamente un cuatro? Justifica tu respuesta.

3.- Imagina que tienes un dado en forma de tetraedro (es decir un "triángulito boing") como el que se muestra en la figura 1. Si en cada esquina colocamos un número;

- ¿Cuáles son los estados de este sistema cuántico?
- ¿Cuál es la probabilidad teórica asociada a cada estado?
- ¿Cómo calcularías la probabilidad experimental asociada a cada estado?

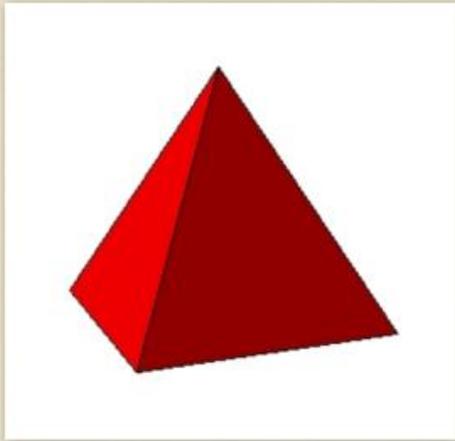


Figura 1.

4.- Da un ejemplo de otro sistema cuántico, QUE NO SEAN DADOS Y MONEDAS, que hayas observado en tu vida cotidiana. Recuerda explicar brevemente porqué consideras que tu ejemplo es un sistema cuántico.

Figura 32. Imagen del blog www.grup404.blogspot.mx, utilizado por los alumnos en las evaluaciones extra clase (Martínez, 2012).

Para los resultados resilientes se considera la aplicación de los pilares PR1-PR6 del modelo BMH-enriquecido presentado en la parte final del primer capítulo (ver apartado 1.2.1). Mientras que los resultados pedagógicos se refieren a la aplicación de los principios P1-P4 a través del portafolio de evidencias presentado en el capítulo 2 (ver apartado 2.3.1).

Los resultados disciplinarios corresponden al aprendizaje de principios de la mecánica cuántica y su avance se reporta utilizando la tabla taxonómica de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl (2001). Esta taxonomía reconoce cuatro dimensiones del conocimiento A-D y seis dimensiones del proceso cognitivo 1-6, ver tabla 17.

Tabla 17. Taxonomía de Bloom (Anderson y Krathwohl, 2001)

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DEL PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos						
B. El conocimiento conceptual						
C. El conocimiento procedimental						
D. Conocimiento metacognitivo						

La dimensión del conocimiento de menor jerarquía corresponde al A. Conocimiento de los hechos y la de mayor jerarquía es D. Conocimiento metacognitivo. En la tabla 18 se presenta la descripción de cada una de las cuatro dimensiones del conocimiento A-D y sus respectivos tipos (Anderson y Krathwohl, 2001).

Tabla 18. Características de las cuatro dimensiones del conocimiento (Anderson y Krathwohl, 2001).

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	Descripción	Tipos
A. El conocimiento de hechos	Elementos básicos que los estudiantes deben saber para estar familiarizados con una disciplina o resolver un problema en ella.	<ul style="list-style-type: none"> a. El conocimiento de la terminología. b. El conocimiento de los detalles y elementos específicos
B. El conocimiento conceptual	Las interrelaciones entre los elementos básicos dentro de una estructura más grande que les permitan funcionar juntos.	<ul style="list-style-type: none"> a. Conocimiento de clasificaciones y categorías. b. Conocimiento de los principios y generalizaciones. c. Conocimiento de teorías, modelos y estructuras.
C. El conocimiento procedimental	Cómo hacer algo, métodos de investigación y los criterios para el uso de habilidades, algoritmos, técnicas y métodos.	<ul style="list-style-type: none"> a. Conocimiento de habilidades y algoritmos de un tema específico. b. Conocimiento de las técnicas y métodos de un tema específico. c. Conocimiento de los criterios para determinar cuándo utilizar procedimientos adecuados.
D. Conocimiento metacognitivo	Conocimiento de la cognición en general, así como la conciencia y el conocimiento de la propia cognición.	<ul style="list-style-type: none"> a. El conocimiento estratégico. b. Tareas cognitivas, incluyendo el contexto apropiado y el conocimiento condicional. c. Conocimiento de sí mismo.

Por otra parte, en la tabla 19 se presenta la descripción de las seis dimensiones del proceso cognitivo, siendo la de menor jerarquía 1. Recordar, mientras que la jerarquía mayor corresponde a 6. Crear (Anderson y Krathwohl, 2001).

Tabla 19. Descripción de las seis dimensiones del proceso cognitivo (Anderson y Krathwohl, 2001).

DIMENSIÓN DEL PROCESO COGNITIVO	Descripción	Verbos asociados
1. Recordar	La recuperación de los conocimientos necesarios de la memoria a largo plazo.	1. Reconociendo 2. Recordando
2. Comprender	Determinar el significado de los mensajes de instrucción.	1. Interpretando 2. Ejemplificando 3. Clasificando 4. Resumiendo 5. Infiriendo 6. Comparando 7. Explicando
3. Aplicar	Llevar a cabo o utilizar un proceso en una situación dada.	1. Ejecutando 2. Implementando
4. Analizar	Romper el material en sus partes constituyentes detectando cómo las partes se relacionan las unas con las otras y con una estructura general o propósito.	1. Diferenciando 2. Organizando 3. Atribuyendo
5. Evaluar	Hacer juicios basados en criterios y estándares.	1. Comprobando 2. Criticando
6. Crear	Poner los elementos juntos para formar un todo coherente o funcional, organizar los elementos en un nuevo patrón o estructura.	1. Generando 2. Planeando 3. Produciendo

Cabe señalar que los verbos asociados (ver tercera columna, tabla 19) serán particularmente útiles, ya que con ellos se clasificarán las respuestas de los estudiantes en su respectiva dimensión del proceso cognitivo.

4.1 Resultados disciplinarios

La evaluación diagnóstica se aplicó al inicio de la primera sesión antes de cualquier situación de instrucción y estuvo conformada por tres preguntas relacionadas a la dimensión A. El conocimiento de los hechos, ver tabla 20. En esta evaluación se les solicita a los alumnos **reconocer** algún sistema cuántico.

Tabla 20. Taxonomía de Bloom. Sesión 1

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos	Sesión 1 (reconociendo)					

Los estudiantes responden (principalmente) de forma ambigua a todas las preguntas de la evaluación diagnóstica (ver figura 33) y son incapaces de **reconocer** algún sistema cuántico.

- **Pregunta 1.** ¿Dónde se aplican los principios de la mecánica cuántica?
- **Pregunta 2.** ¿Qué es un sistema cuántico?
- **Pregunta 3.** ¿Qué sistemas cuánticos conoces?

A. Reconociendo

R1. para medir energía, en la física, estudio de movimientos

R2. No se

R3. Ninguno

Figura 33. Ejemplos representativos de respuestas para las tres preguntas de la evaluación diagnóstica de la sesión 1. En las tres preguntas de esta evaluación todos los equipos **no reconocen** algún vínculo entre la mecánica cuántica y su vida cotidiana, tampoco pueden expresar algún tema científico que se relacione con la mecánica cuántica y sus respuestas resultan ambiguas.

Al término de la segunda sesión, los estudiantes realizan una evaluación formativa directamente en el blog del curso, la cual estuvo conformada por cuatro preguntas alusivas a la dimensión A. El conocimiento de los hechos, ver tabla 21. En las preguntas 1 y 2 los estudiantes tienen que **recordar** las características señaladas como fundamentales, durante las primeras dos sesiones, para la descripción de un sistema cuántico. Mientras que en las preguntas 3 y 4, se les solicita **reconocer** los estados y probabilidades de analogías cuánticas que les resultan familiares.

Tabla 21. Taxonomía de Bloom. Sesión 2

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos	Sesión 2 (reconociendo, recordando)					

Al término de la sesión 2, de forma positiva todos los equipos lograron responder satisfactoriamente las preguntas de esta evaluación formativa (ver figuras 34 y 35).

- **Pregunta 1.** *¿Qué elementos consideras importantes para describir un sistema cuántico?*
- **Pregunta 2.** *Juan tira un dado y obtiene un 4. ¿En su siguiente tiro obtendrá nuevamente un cuatro? Justifica tu respuesta.*

A. Recordando

1= Estados y Probabilidades

2= no necesariamente, pero lo podría obtener ya que según la probabilidad teórica tiene 1/6 de probabilidad que salga otra vez el número 4

1.-R=Estados y probabilidades

2.-R=Es probable, pero no es totalmente seguro, ya que la probabilidad teórica es de 1/6

Figura 34. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 1 y 2 de la evaluación formativa de la sesión 2. Los equipos de estudiantes **recuerdan** dos de los elementos fundamentales de los sistemas cuánticos (pregunta 1) y la independencia entre eventos aleatorios (pregunta 2).

- **Pregunta 3.** Imagina que tienes un dado en forma de tetraedro (es decir un "triángulito boing"). Si en cada esquina colocamos un número;

- ¿Cuáles son los estados de este sistema cuántico?
- ¿Cuál es la probabilidad teórica asociada a cada estado?
- ¿Cómo calcularías la probabilidad experimental asociada a cada estado?

A. Reconociendo

3:

a) $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$

b) $1/4 = 0.25$

c) Marcas en un tetraedro los cuatro estados, uno en cada cara luego lo tiras las veces necesarias para que la probabilidad experimental que resulta de tirar el tetraedro cada vez se acerque mas a la teorica

3.

a) $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$

b) $1/4$

c) a cada cara se le pone el estado, como son 4 estados lo mejor seria tirarlo 200 veces y asi poder sacar la probabilidad experimental

- **Pregunta 4.** Da un ejemplo de otro sistema cuántico, QUE NO SEAN DADOS Y MONEDAS, que hayas observado en tu vida cotidiana. Recuerda explicar brevemente por qué consideras que tu ejemplo es un sistema cuántico.

A. Reconociendo

R4= Ruleta de casino; 37 números (contando el cero) y con el perfecto equilibrio en la posición en que están colocados sobre la rueda nos da una probabilidad teórica de $1/37$. :)

#4... El juego de "¿Dónde quedo la volita?", en el que los tres vasos serían los tres estados y tienes $1/3$ de probabilidad para encantarlo.

4.-R= Sistema cuántico: Pirinola; es un sistema cuántico por que tiene 6 estados y cada estado tiene una probabilidad de $1/6$

Figura 35. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 3 y 4 de la evaluación formativa de la sesión 2. Los equipos de estudiantes **reconocen** los estados y probabilidades en un sistema cuántico similar al presentando en la sesión 2 (pregunta 3) y en un nuevo ejemplo de su vida cotidiana (pregunta 4).

Este camino de enseñanza mediante analogías cambia de forma dramática la percepción de los alumnos en cuanto a la aplicación de los principios de la mecánica cuántica. Al finalizar la segunda sesión los alumnos pueden reconocer por qué dos renombrados físicos, N. Bohr y J. Pauli, promotores de la mecánica cuántica, miran tan detenidamente a la pirinola como un sistema cuántico (ver figura 36).

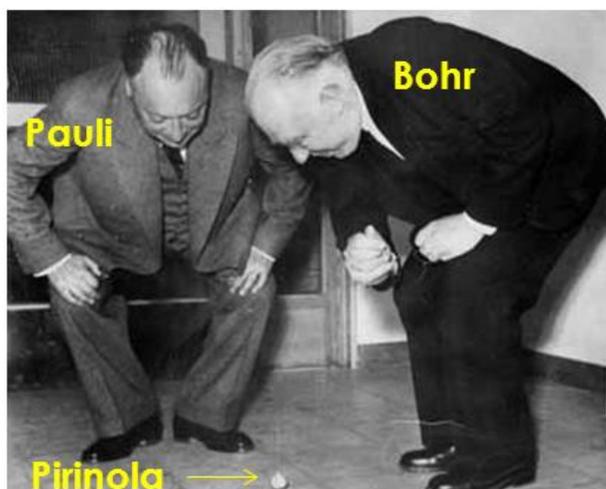


Figura 36. Los estudiantes reconocen a la pirinola como un sistema cuántico de seis estados (ver figura 35). En la imagen los renombrados físicos Pauli y Bohr realizan un experimento al lanzar (gitar) este sistema cuántico análogo (Serway y Jewett, 2003).

Además, 93% de los equipos muestran que pueden utilizar la notación de Dirac en sus respuestas, aunque la evaluación sumativa correspondiente no lo solicitaba explícitamente. Es así que los alumnos no solo repiten de forma adecuada la notación de Dirac, también muestran su ingenio para escribir los kets de estado (ver tabla 22).

Tabla 22. Los alumnos repiten la notación de Dirac

Kets de Estado	Representaciones de los alumnos
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$ $/1\rangle$
$ 2\rangle$	$ 2\rangle$ $/2\rangle$
$ 3\rangle$	$ 3\rangle$ $/3\rangle$
$ 4\rangle$	$ 4\rangle$ $/4\rangle$

La siguiente evaluación (de índole sumativa) estuvo conformada por cinco preguntas alusivas a la dimensión A. El conocimiento de los hechos (ver tabla 23), y fue realizada por los estudiantes en una modalidad extra clase (respondiendo directamente en el blog del curso) al término de la cuarta sesión. En dicha evaluación se les solicita a los alumnos **reconocer** el vector de estado de una analogía y un detector adecuado para los fotones (preguntas 1 y 4), **recordar** el cuanto que caracteriza a la luz (pregunta 2), **interpretar** datos experimentales reales (pregunta 3) y **explicar** que es lo que consideran un sistema cuántico (pregunta 5).

Tabla 23. Taxonomía de Bloom. Sesión 3-4.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos	Sesión 3-4 (reconociendo, recordando)	Sesión 3-4 (interpretando, explicando)				

En las primeras tres preguntas 80% de los equipos presentaron respuestas congruentes con los verbos: **reconocer**, **recordar** e **interpretar** (ver figuras 37, 38 y 39).

- **Pregunta 1.** *Escribe el VECTOR DE ESTADO del sistema cuántico que propusiste como ejemplo en la tarea anterior.*

A. Reconociendo

1. Pirinola: $\frac{1}{6} |1\rangle + \frac{1}{6} |2\rangle + \frac{1}{6} |3\rangle + \frac{1}{6} |4\rangle + \frac{1}{6} |5\rangle + \frac{1}{6} |6\rangle$

1.- $R = |Ruleta\rangle = \frac{1}{37} |1\rangle + \frac{1}{37} |2\rangle + \frac{1}{37} |3\rangle + \frac{1}{37} |4\rangle + \frac{1}{37} |5\rangle + \frac{1}{37} |6\rangle + \frac{1}{37} |7\rangle + \frac{1}{37} |8\rangle + \frac{1}{37} |9\rangle + \frac{1}{37} |10\rangle + \frac{1}{37} |11\rangle + \frac{1}{37} |12\rangle + \frac{1}{37} |13\rangle + \frac{1}{37} |14\rangle + \frac{1}{37} |15\rangle + \frac{1}{37} |16\rangle + \frac{1}{37} |17\rangle + \frac{1}{37} |18\rangle + \frac{1}{37} |19\rangle + \frac{1}{37} |20\rangle + \frac{1}{37} |21\rangle + \frac{1}{37} |22\rangle + \frac{1}{37} |23\rangle + \frac{1}{37} |24\rangle + \frac{1}{37} |25\rangle + \frac{1}{37} |26\rangle + \frac{1}{37} |27\rangle + \frac{1}{37} |28\rangle + \frac{1}{37} |29\rangle + \frac{1}{37} |30\rangle + \frac{1}{37} |31\rangle + \frac{1}{37} |32\rangle + \frac{1}{37} |33\rangle + \frac{1}{37} |34\rangle + \frac{1}{37} |35\rangle + \frac{1}{37} |36\rangle + \frac{1}{37} |37\rangle$

1... ¿Dónde quedó la volita? $\rangle = \frac{1}{3} |1\rangle + \frac{1}{3} |2\rangle + \frac{1}{3} |3\rangle$

Figura 37. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 1 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4. Los equipos de estudiantes **reconocen** el vector de estado que le corresponde al ejemplo que previamente habían presentado en la evaluación de la sesión 2.

- **Pregunta 2.** Identifica el cuanto que caracteriza a la luz de un láser. Recuerda justificar tu respuesta.

A. Recordando

2.-R= Sus cuantos se llaman Fotones, los cuales van con mucha velocidad y es cuantificable.

2. el sistema cuantico laser es dificl de persivir ya que los fotones salen comprimidos a gran velocidad de forma que es muy difcil ver la separacion entre ellos

2.-R= Los fotones salen a gran velocidad, aunque si se pueden contar, es continuo y es muy difcil que tenga probabilidades.

2. Pues cuenta con fotones que estan a gran velocidad, aunque es continuo si se pueden contar sus probabilidades solo que es un poco difcil

Figura 38. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 2 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4. En sus respuestas los equipos **recuerdan** al cuanto que caracteriza la luz de un láser.

- **Pregunta 3.** Se hacen 1012 mediciones* para el sistema cuántico láser. La frecuencia del $|0\rangle$ es 823, la frecuencia del $|1\rangle$ es 166, la frecuencia del $|2\rangle$ es 22 y la frecuencia del $|3\rangle$ es 1.
a) *Calcula la probabilidad experimental de cada estado.*
b) *Escribe el **vector de estado experimental** de este sistema cuántico.*

*Estos datos experimentales son reales y fueron presentados en el 2008 en el LI Congreso Nacional de Física

A. Interpretando

3.3.a) $|\text{láser experimental}\rangle = 0.81|0\rangle + 0.16|1\rangle + 0.02|2\rangle + 0.0009|3\rangle$

3.-R= a) $\text{exp.}|\text{láser}\rangle = 0.81|0\rangle + 0.16|1\rangle + 0.02|2\rangle + 0.0009|3\rangle$

3.a) $|\text{láser}\rangle_{\text{exp}} = 0.81|0\rangle + 0.16|1\rangle + 0.02|2\rangle + 0.0009|3\rangle$

Figura 39. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 3 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4. Los alumnos **interpretan** los datos experimentales y establecen el vector de estado (no normalizado) que describe a un láser. Es decir, representa la información del enunciado (que contiene las mediciones experimentales) mediante un vector de estado.

En las últimas dos preguntas (3 y 4) solamente el 40% de los equipos logró presentar respuestas caracterizadas por los verbos: **reconocer** y **explicar**, mientras que el 60%

restante presenta respuestas que no son compatibles con la cuantización (ver figuras 40, 41 y 42).

Pregunta 4. Para la fuente de gotones el papel resultaba ser un detector adecuado ¿Qué propones utilizar como detector para el sistema cuántico láser?

A. Reconociendo

4.-R=Una lupa

4.Lentes de sol

4.- En puñado de gis (se veran los fotones mientras pasen por donde cae el gis)

Figura 40. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 4 de la evaluación sumativa, correspondiente a las sesiones 3 y 4. Para la pregunta 4 el detector idóneo de fotones que provienen de un láser en un contexto científico es un tubo fotomultiplicador conectado a un contador de fotones, pero no es el único dispositivo que permite identificar fotones, por ejemplo en un contexto familiar puede utilizarse como detector cualitativo de fotones un rollo fotográfico o un trozo de papel fotográfico, en estos dos dispositivos los fotones no aparecen de forma individual pero sí pueden identificarse en función de la reacción química que provocan al incidir sobre ambos materiales. Sin embargo, los ejemplos que **reconocen** los equipos no permiten la detección de fotones; por más poderosa que resulte una lupa esta no permite visualizar los fotones de forma individual, los lentes de sol atenúan la intensidad de un haz pero no permiten hacer detecciones y un puñado de gis en polvo permite visualizar el haz de un láser pero no realizar detecciones.

- **Pregunta 5.** Respondan nuevamente estas dos preguntas que hicimos al principio de este módulo de mecánica cuántica:
 - a) ¿Qué es un sistema cuántico?

A. Explicando

5.- A)Es un sistema que cuenta con "cuantos", estados y probabilidades que además se cuantifican con números naturales a partir del número 0

5.a) Es un sistema que cuenta con estados que a su vez tienen probabilidades además de ser cuantificables con números naturales

5.- a)Es un sistema que se puede contar "cuantos", tiene probabilidades y estados

Figura 41. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 5a) de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4. En la pregunta 5a los equipos **explican** brevemente que es un sistema cuántico a partir de estados, cuántos y probabilidades.

b) ¿Dónde se aplican los principios de la mecánica cuántica?

A. Explicando

5... b) Se puede justificar en cosas cuantitativas donde contengan probabilidades y en la vida cotidiana lo podemos interpretar utilizando los juegos de azar.

5.- b) En la vida cotidiana (como el volado), en las ciencias (física) y en cualquier cosa que tenga probabilidades y estados

B) en cualquier cosa o sistema donde tenga probabilidades y una forma cuantificable

b) para fabricar cualquier aparato eléctrico ya que se usa en la producción de dicho producto

5- b) en los chips de algunos aparatos electrónicos por ejemplo los teléfonos celulares

b) En la materia & energía, la luz, etc.

Figura 42. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 5b) de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4. (Arriba) Los alumnos pueden **explicar** en qué contexto es válida una descripción de índole cuántica. (Abajo) Respuestas donde los alumnos aún no logran identificar el contexto de la mecánica cuántica a partir de estados, cuantos y probabilidades.

Entre la implementación de la cuarta y la quinta sesión se tuvo un intervalo de separación que prácticamente contempló cuatro meses (situación que se analiza en el apartado 4.2.3 Aprendizaje Continuo). La evaluación (formativa) realizada por los estudiantes durante la quinta sesión estuvo conformada por una actividad relacionada con la dimensión C. El conocimiento procedimental, ver tabla 24. En dicha evaluación se les solicitó a los equipos **ejecutar** un procedimiento para determinar el espectro de emisión de diferentes LEDs.

Tabla 24. Taxonomía de Bloom. Sesión 5.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
C. El conocimiento procedimental			Sesión 5 (Ejecutando)			

El 70% de los equipos mostraron que son capaces de **ejecutar** un procedimiento (ver SESIÓN 6, anexo 1) que les permitió utilizar en CD como una rejilla de difracción para identificar las componentes de los espectros de emisión de diferentes LEDS (ver figura 43). De esta forma el CD se convierte en un espectrómetro cualitativo.

C. Ejecutando

LED	Colores Observados	Color Principal
Verde	Azul, verde, amarillo, naranja	Verde
Azul	morado, verde, amarillo, azul	Azul
Blanco	morado, verde, rojo, azul, amarillo, naranja	No tiene
Rojo	Azul, verde, amarillo, naranja, morado	Rojo

LED	Colores Observados	Color Principal
Rojo	amarillo, verde, azul, rojo, anaranjado	amarillo
Verde	morado, azul, anaranjado, rojo, blanco, amarillo	blanco
Azul	amarillo, verde, anaranjado, morado, azul	verde

Figura 43. Ejemplos representativos de respuestas para la evaluación formativa de la sesión 5. (Arriba) Los estudiantes logran **ejecutar** correctamente un procedimiento para identificar el color principal y las componentes del espectro de la luz que proviene de los LEDS, incluso pueden distinguir que el espectro emitido por el LED blanco está conformado por todos los colores, es decir no tienen una componente principal. (Abajo) El 30% de los equipos no lograron identificar todos los componentes del espectro o el color principal de la luz de los LEDS, incluso cometen errores importantes como considerar que el “blanco” es el color principal que emite el LED verde.

Al término de la sexta sesión se realizó una evaluación de índole sumativa conformada por cuatro preguntas relacionadas con las dimensiones del conocimiento B. El conocimiento conceptual (preguntas 1 y 2) y C. El conocimiento procedimental (preguntas 3 y 4), ver tabla 25. Los estudiantes tenían que **clasificar** la luz de diferentes fuentes LED de acuerdo a la

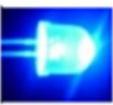
energía de sus fotones y **ejecutar** nuevamente el procedimiento realizado en la sesión 5 para determinar el espectro de emisión de dos lámparas del alumbrado público.

Tabla 25. Taxonomía de Bloom. Sesión 6.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos						
B. El conocimiento conceptual		Sesión 6 (Clasificando)				
C. El conocimiento procedimental			Sesión 6 (Ejecutando)			

En las primeras dos preguntas 70% de los equipos pueden **clasificar** la luz emitida por diferentes LEDS de acuerdo a su energía (ver figura 44).

- **Pregunta 1.** Ordena los siguientes LEDS del 1 al 4 dependiendo de la energía de su luz, coloca en primer lugar el de **MAYOR** energía y en último lugar el de **MENOR** energía.

LED	Color Principal	Frecuencia
	Rojo	453 THz
	Azul	645 THz
	Verde	556 THz
	Amarillo	517 THz

- **Pregunta 2.** ¿Cómo determinaste cuál luz tiene MÁS energía y cuál luz tiene MENOS energía?

B. Clasificando

a)

- 1.-Led azul
- 2.-Led verde
- 3.- Led amarillo
- 4.- Led rojo

b)Esto es ,ya que entre mayor sea la frecuencia , mayor debe ser la energía para producir las ondas.

a) Leds de mayor a menos energía.

R= Azul

-Verde

-Amarillo

-Rojo

R= Por lo que es la frecuencia y la energía aumentan de manera proporcional osea que entre mas THz mayor sera la energía.

R2=Por la frecuencia de sus THZ entre mayor sea esa frecuencia mayor es la intensidad que emita de luz.

Figura 44. Ejemplos representativos de respuestas para las primeras dos preguntas de la evaluación sumativa de la sesión 6. (Arriba) Los alumnos **clasifican** correctamente los LEDS considerando la relación entre la energía y el color, y además justifican su decisión utilizando la relación que existe entre la frecuencia y la energía de la luz. (Abajo) El 30% de los equipos no lograron reconocer la relación frecuencia-energía para los fotones, por ejemplo, erróneamente relacionan la energía de los fotones con la intensidad de la fuente luminosa.

En las preguntas 3 y 4, 60% de los equipos lograron **ejecutar** el procedimiento presentado en la sesión 5 para utilizar un CD como espectrómetro cualitativo e identificar correctamente el espectro de emisión de dos lámparas del alumbrado público. (ver figura 45).

- **Pregunta 3.** Ubica una lámpara AMARILLA del alumbrado público cerca de tu casa, colócate debajo de ella con tu analizador de luz (CD). Si lo haces con calma observarás una serie de líneas de colores sobre el disco, este es el ESPECTRO DE EMISIÓN de la lámpara AMARILLA ¿Qué colores observaste para la lámpara AMARILLA del alumbrado público?
- **Pregunta 4.** Ahora ubica una lámpara BLANCA-VERDOSA ¿Qué colores tiene el espectro de emisión de la lámpara BLANCA-VERDOSA del alumbrado público?

C. Ejecutando

3. Azul fuerte, naranja, una tonalidad de verde, rojo y amarillo

4.- Verde, azul, amarillo, algo de rosa, rojo y morado

3. Naranja, rojo, azul, verde y morado

R4.- Morado, rosa, y por momentos una luz blanca.

Figura 45. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 3 y 4 de la evaluación sumativa correspondiente a la sesión 6. **Ejecutando** correctamente el procedimiento presentado en la sesión 5, 60% de los equipos lograron identificar los colores que forman el espectro de luz de las lámparas “amarilla” y “blanca-verdosa” del alumbrado público. Sin embargo, el 40% restante no logró ejecutar exitosamente esta actividad, identificaron de forma inadecuada los colores en el espectro de cada lámpara o cometieron errores graves como expresar que una lámpara emite luz blanca, es decir, no lograron utilizar correctamente el disco compacto como una rejilla de difracción para separar la luz en sus diversas componentes espectrales.

Para la séptima sesión los estudiantes realizaron una evaluación de índole formativa, constituida por dos preguntas relacionadas con la dimensión B. El conocimiento conceptual, ver tabla 26. En esta evaluación los equipos tuvieron que **reconocer** el diagrama de dos niveles que le corresponde a cuatro diferentes fotones.

Tabla 26. Taxonomía de Bloom. Sesión 7.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
B. El conocimiento conceptual	Sesión 7 (Reconociendo)					

El 80% de los equipos, consiguió **reconocer** la relación entre color y energía, al identificar de forma correcta el fotón emitido en cada sistema de dos niveles (figura 46).

- **Pregunta 1.** Completa los siguientes diagramas de energía dibujando el fotón que es liberado. Utiliza los colores: **ROJO, VERDE, AMARILLO** y **AZUL**
- **Pregunta 2.** ¿Cómo identificase el color del fotón que le correspondía a cada diagrama?

B. Reconociendo

The figure shows four energy level diagrams, each with two levels labeled E_1 and E_0 . An electron (e^-) is shown transitioning from E_1 to E_0 . A photon is drawn between the levels, representing the energy released during the transition. The photons are drawn in different colors: red, yellow, blue, and green.

R.- Por la longitud que hay entre $|E_1\rangle$ y $|E_0\rangle$, entre mayor sea mayor energía.

R.- porque sabemos la duración de cada color

Figura 46. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 1 y 2 de la evaluación formativa de la sesión 7. (Arriba) El 80% de los equipos **reconocen** correctamente el color de un fotón emitido durante una transición electrónica entre dos niveles energéticos. (Abajo) Sin embargo, aún se conserva un pequeño remanente, 20% de los equipos no logran reconocer la relación entre el fotón emitido y la diferencia de energía entre los niveles.

De forma ingeniosa algunos equipos (10%) reflexionaron sobre cómo representar la frecuencia de los fotones. Esto gráficamente se aprecia en las “colas” de los fotones. Así para los fotones menos energéticos utilizaron un trazo que denotaba una frecuencia menor y para los más energéticos utilizaron un trazo que denotaba una frecuencia mayor (ver figura 47).



Figura 47. Al finalizar la sesión 7, el 10% de los equipos **reconocen** la relación energía-frecuencia-color de los fotones.

La última evaluación estuvo conformada por tres preguntas relacionadas con la dimensión B. El conocimiento conceptual, ver tabla 27. En esta evaluación, los estudiantes tienen que **comparar** diferentes espectros de emisión teóricos con una evidencia experimental proporcionada por el profesor para determinar el gas contenido en una fuente luminosa (preguntas 1 y 2). Además, se les solicita **inferir** los niveles energéticos que corresponden a un espectro de emisión (pregunta 3).

Tabla 27. Taxonomía de Bloom. Sesión 8.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
B. El conocimiento conceptual		Sesión 8 (Comparando, Infiriendo)				

El 80% de los equipos logró **comparar** correctamente el espectro de emisión de la lámpara amarilla del alumbrado público para determinar que el gas contenido en su interior es sodio a alta presión (ver figura 48). Además, dicho porcentaje de quipos, consiguió **inferir** los niveles energéticos que justifican cualitativamente el espectro de emisión del sodio a alta presión al generalizar el sistema de dos niveles (ver figura 49).

- **Pregunta 1.** Señala cuál de los siguientes espectros le corresponde a la “lámpara amarilla” del alumbrado público



- **Pregunta 2.** ¿Qué material se encuentra dentro de la “lámpara amarilla” del alumbrado público?

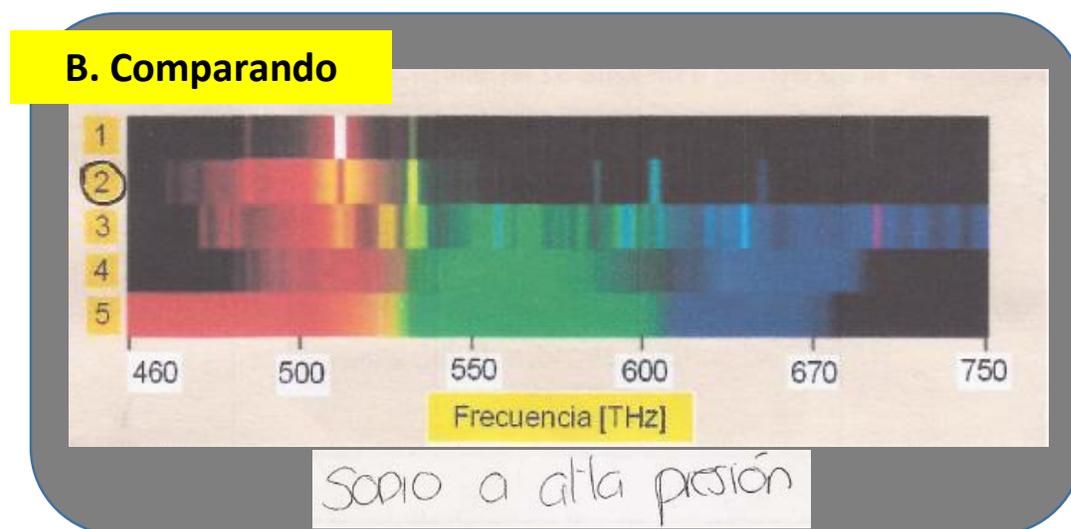


Figura 48. Los alumnos **comparan** de forma correcta los espectros de emisión y postulan que el gas contenido en la lámpara de descarga del alumbrado público es sodio a alta presión.

- **Pregunta 3.** Utilizando los colores realiza el diagrama de energía que corresponde a dicha lámpara del alumbrado público.

B. Infiriendo

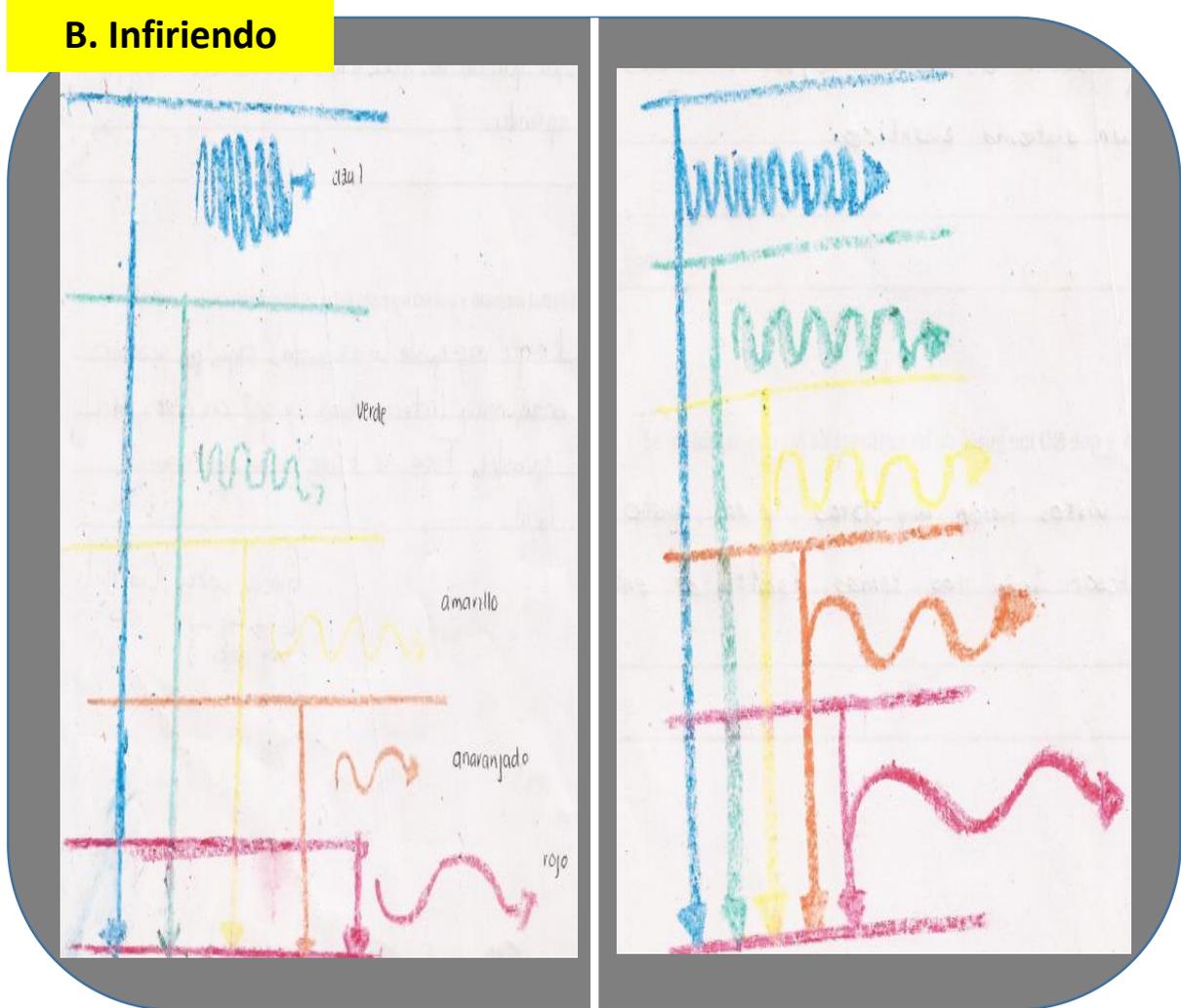


Figura 49. En la evaluación sumativa de la sesión 8, 80% de los equipos pueden **inferir** los niveles energéticos que cualitativamente justifica el espectro de emisión del sodio a alta presión. Los alumnos muestran que cuentan con la capacidad necesaria para realizar un diagrama de energía de múltiples niveles que enfatiza la relación energía-frecuencia-color de cada fotón que es emitido en una transición electrónica entre dos diferentes niveles del átomo.

4.2 Resultados Pedagógicos

Los resultados pedagógicos se dividen en dos apartados. Primero, con el índice de efectividad pedagógica (IEP) se evalúa el papel del docente en la promoción de principios P1-P4 y en segundo lugar se evalúa el ejercicio de estos principios por parte de los estudiantes. Esta división se basa en el hecho de que ambos (el docente y los alumnos) utilizan diferentes herramientas para relacionarse con los principios P1-P4; el docente utiliza criterios de operación CO1-CO16 (ver Tabla 10. Principios pedagógicos y sus respectivos criterios de operación, capítulo 2), mientras que el alumno utiliza el portafolio de evidencias (ver Tabla 8. Principios pedagógicos y el portafolio de evidencias, capítulo 2).

4.2.1 Resultados Pedagógicos del Docente

Sin caer en una presunción científicista obsesionada con obtener un número, es necesario evaluar qué tan adecuada o deficiente resultó la labor del docente en cuanto al fomento de los principios P1-P4, ya que su buen funcionamiento permite establecer una comunidad de aprendizaje entre los estudiantes (ver apartado 2.4 Cuarto nivel, comunidades de aprendizaje). Para promover estos principios, en el día a día, el docente utiliza acciones concretas denominadas criterios de operación CO1-CO16, dichas acciones están manifestadas en las cartas descriptivas correspondientes a cada sesión (ver anexo 1).

En un ejercicio reflexivo sobre la práctica docente al final de la descripción de cada sesión se clasificó la ejecución de cada criterio de operación, en una escala de cero a tres, utilizando tres categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3), en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver anexo 1). En la tabla 28 se concentran todos los resultados y se presenta la ejecución promedio de todos los criterios de operación durante ocho sesiones. Con esta información se obtuvo el índice de efectividad pedagógica (IEP) cuyo valor refleja el trabajo del docente como promotor de cada principio P1-P4.

Tabla 28. Índice de efectividad pedagógica (IEP) para cada principio P1-P4

Principios pedagógicos	Criterios de Operación	Ejecución Promedio	IEP
P1. Ayudar a que se dé el aprendizaje Mutuo	CO1	1.83	2.08
	CO2	1.89	
	CO3	2.00	
	CO4	2.61	
P2. Promover el aprendizaje continuo	CO5	2.42	1.69
	CO6	2.33	
	CO7	2.00	
	CO8	0.00	
P3. Hacer visible el pensamiento	CO9	1.50	1.97
	CO10	1.92	
	CO11	2.00	
	CO12	2.46	
P4. Hacer accesible el conocimiento	CO13	2.21	2.27
	CO14	2.00	
	CO15	2.77	
	CO16	2.08	

Considerando que cada principio tiene la misma importancia, al promediar los valores de la última columna se obtiene un índice de efectividad pedagógica total (IEP_{Total}):

$$IEP_{Total} = 2.0$$

Y utilizando la siguiente ecuación se expresa el valor porcentual del IEP_{Total} . Es decir, se cambia de una escala que va de 0 a 3, a una escala que va de 0% a 100%.

$$IEP_{Total} = (2.0) * (1/3)$$

Aplicando la ecuación anterior se obtiene que:

$$IEP_{Total} = 67\%$$

Este valor porcentual representa el compromiso que el docente tiene con el cuarto nivel de la estructura teórica (ver capítulo 2), es decir, fomentar una comunidad de aprendizaje entre los estudiantes.

4.2.2 Resultados Pedagógicos de los Alumnos

Como se presentó en el capítulo 2, los alumnos aplican los principios P1- P4 utilizando el portafolio de evidencias (sobre de tamaño carta). Esta herramienta resultó bastante atractiva para los alumnos, y el personalizarlo con imágenes de su elección permitió que al término de las ocho sesiones más del 90% de los equipos entregaran el sobre con el que trabajaron (ver figura 50).

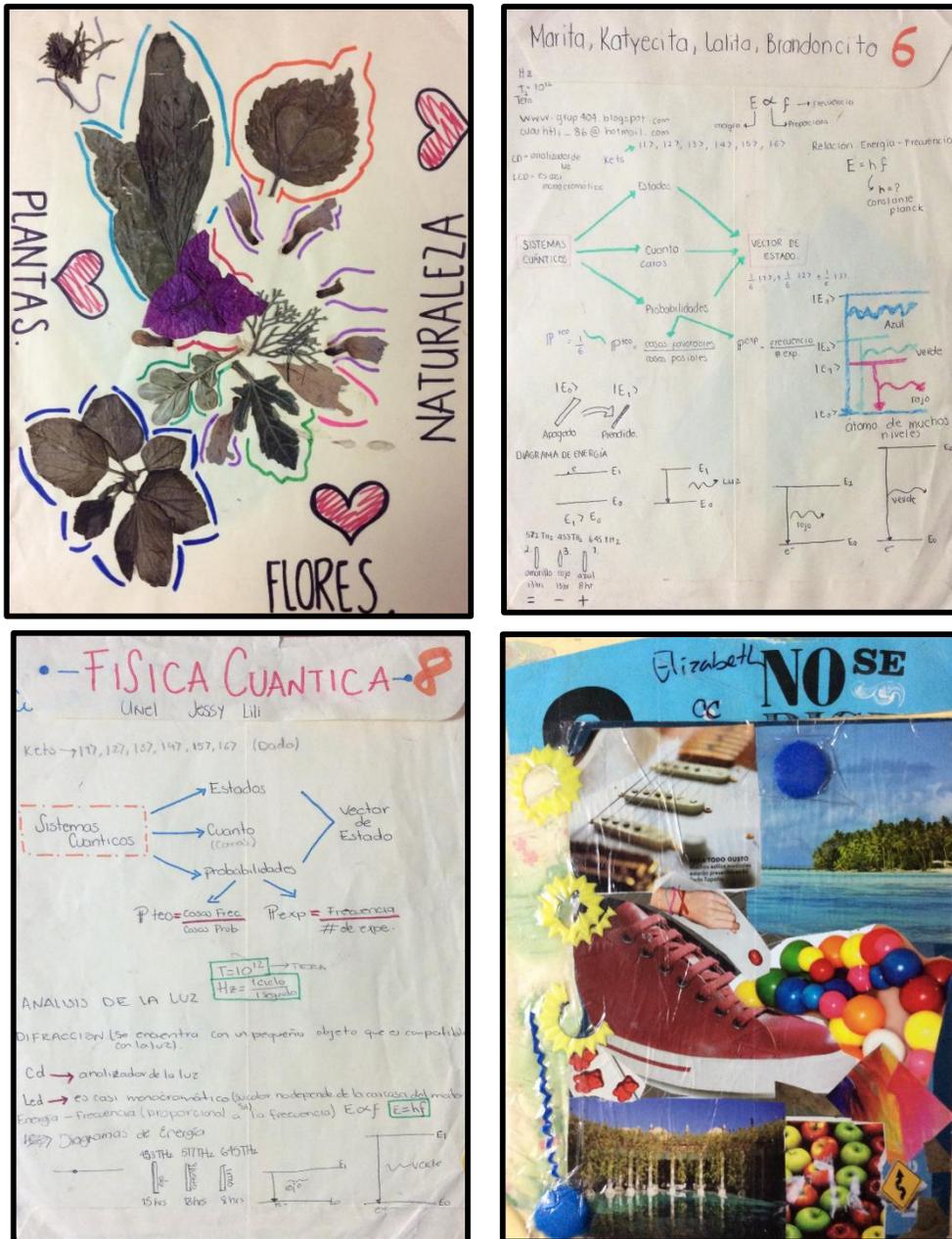


Figura 50. Ejemplos de los portafolios de evidencia utilizados por los estudiantes incluidos en el anexo 7.

- **P1.** Ayudar a que se dé el aprendizaje mutuo

En la contraportada de cada sobre se tienen anotaciones realizadas con diferentes caligrafías, esto se debe a que los contenidos ahí recopilados no son una elección arbitraria de un solo miembro del equipo, sino que surgen del consenso y la discusión suscitada al realizar las actividades de cada sesión. De esta forma el portafolio de evidencias constituye un espacio que fomenta el aprendizaje mutuo de los estudiantes.

- **P2.** Promover el aprendizaje continuo

Se debe notar que entre las sesiones de mecánica cuántica existe un espacio temporal considerable que incluso llega a ser de aproximadamente 4 meses entre la cuarta y quinta sesión (ver tabla 29).

Tabla 29. Intervalo temporal entre las sesiones.

Sesiones	Fecha de Aplicación	Tiempo entre sesiones sucesivas
1	06/11/2012	-----
2	07/11/2012	1 día
3	16/11/2012	9 días
4	16/11/2012	0 días
5	12/03/2013	116 días
6	13/03/2013	1 día
7	19/03/2013	6 días
8	20/03/2013	1 día

El portafolio de evidencias promueve el aprendizaje continuo de los estudiantes al facilitar que puedan retomar los contenidos más importantes de sesiones pasadas para utilizarlos en la construcción de nuevos aprendizajes, así el sobre funciona como una memoria alterna que permite sopesar intervalos de tiempo considerables.

- **P3. Hacer visible el pensamiento**

Este principio fue implementado en la contraportada del sobre, sitio donde los alumnos recopilaron los contenidos más relevantes de cada de sesión, algunos enfatizados por el profesor y otros fueron seleccionados por los integrantes de cada equipo de acuerdo a sus necesidades y discusiones. Es así que todos los sobres cuentan con elementos en común, pero a su vez son productos únicos ya que han sido personalizados por los estudiantes.

- **P4. Hacer accesible el conocimiento**

Dentro del sobre los alumnos resguardaron los documentos correspondientes a las evaluaciones presenciales, es decir, realizadas durante la clase (ver tabla 16), y el espectrómetro cualitativo (CD) utilizado de forma recursiva a partir de la quinta sesión (ver anexo 1). Esta característica de accesibilidad permitió que los alumnos recuperaran fácilmente los resultados de las evaluaciones previas para aclarar y generalizar conceptos.

4.3 Resultados Resilientes

Nuevamente los resultados resilientes se presentan en dos apartados diferentes; primero utilizando el índice de efectividad resiliente (IER) se evalúa el papel del docente como promotor de los pilares PR1-PR6 y después en un segundo apartado se muestran las evidencias del desarrollo resiliente de los estudiantes.

4.3.1 Resultados Resilientes del Docente

La clasificación de cada uno de los dieciséis criterios de operación de los principios pedagógicos (CO1-CO16), de acuerdo a su ejecución (ver tabla 28), brinda valiosa información para calcular el índice de efectividad resiliente (IER) para cada uno de los pilares PR1-PR6 (ver tabla 30).

Tabla 30. Índice de efectividad resiliente (IER) para cada pilar PR1-PR6.

Pilares Resilientes	Criterios de operación	Ejecución Promedio	IER
PR1. Enriquecimiento de vínculos	CO2	1.89	2.25
	CO4	2.61	
PR2. Establecimiento de límites claros y firmes	CO3	2.00	2.01
PR3. Enseñanza de habilidades para la vida	CO6	2.33	1.62
	CO8	0.00	
	CO9	1.50	
	CO11	2.00	
	CO13	2.21	
PR4. Brindar apoyo y afecto	CO1	1.83	1.95
	CO16	2.08	
PR5. Establecer y comunicar expectativas elevadas	CO7	2.00	2.31
	CO12	2.46	
	CO14	2.00	
	CO15	2.77	
PR6. Brindar oportunidades de participación significativa	CO5	2.42	2.16
	CO10	1.92	

Considerando que cada pilar tiene la misma importancia, al promediar los valores de la última columna se obtiene un índice de efectividad resiliente total (IER_{Total}):

$$IER_{Total} = 2.05$$

Y utilizando la siguiente ecuación se expresa el valor porcentual del IER_{Total} . Es decir, se cambia de una escala que va de 0 a 3, a una escala que va de 0% a 100%.

$$IER_{Total} = (2.05) * (1/3)$$

Aplicando la ecuación anterior se obtiene que:

$$\text{IEP}_{\text{Total}} = 68\%$$

Este valor porcentual representa el compromiso que el docente tiene con el cuidado de sus estudiantes ya que el desarrollo de la resiliencia educativa les permite sobreponerse a las adversidades que enfrentan en su entorno y lograr competencia académica y social (ver capítulo 1).

4.3.2 Resultados Resilientes de los Alumnos

Para lograr el desarrollo resiliente de los estudiantes, en el capítulo 1 se hizo la propuesta de utilizar el modelo BMH-enriquecido conformado por seis pilares resilientes PR1-PR6 (ver tabla 4). A continuación, se presenta el ejercicio de estos pilares por parte de los estudiantes.

- **PR1.** Enriquecimiento de vínculos

Cuando los estudiantes recopilan (en la portada del sobre) imágenes relacionadas con sus intereses se crea un vínculo entre sus gustos y el sobre, de esta forma el sobre se convierte en un elemento afín que aprecian, resguardan y traen consigo en cada sesión. En la portada del sobre podemos encontrar la convivencia de múltiples temáticas, ya que su realización implica lograr un consenso para que todos los integrantes del equipo estén satisfechos. Así en un equipo mayoritariamente formado por estudiantes de género masculino se tienen por ejemplo escudos de diferentes equipos y las imágenes de juegos de video; en cambio para un equipo formado mayoritariamente por estudiantes del género femenino se tienen motivos alusivos a grupos musicales, y en un equipo donde no hay mayoría de género se tiene una temática neutra, por ejemplo, motivos vinculados a la naturaleza.

- **PR2.** Establecimiento de límites claros y firmes

En particular, durante la sesión 7 (ver anexo 1), se invitó a los estudiantes a establecer normas de seguridad para el uso del analizador cualitativo. Además, se mantuvo un compromiso de entrega de tres días para las actividades extra clase.

- **PR3.** Enseñanza de habilidades para la vida

Inicialmente los alumnos manifestaron que no habían trabajado previamente en un medio electrónico como el blog (*www.grup404.blogspot.mx*); pese a esta situación inicial lograron adaptarse a esta nueva herramienta y en las evaluaciones extra clase realizadas al término de las sesiones 2, 3, 4 y 6 se obtuvo una buena participación que en promedio superó el 80% del total de estudiantes inscritos al curso de Física III.

Además, los estudiantes utilizaron exitosamente el blog para expresar y compartir sus ideas; por ejemplo, en la tabla 19 se muestran diferentes iconografías que emplearon para representar adecuadamente los kets de estado. De esta forma, con el uso del blog los alumnos tienen la oportunidad de practicar la expresión de sus ideas para establecer un diálogo efectivo entre alumno-alumno y alumno-profesor.

- **PR4.** Brindar apoyo y afecto

En la lengüeta del sobre se solicitó a los alumnos escribir el nombre de su preferencia; esta sencilla actividad permitió establecer un diálogo cercano y llamarlos directamente por su nombre, ya sea para aclarar algún concepto, felicitarlos al realizar una actividad correctamente o para guiarlos.

- **PR5.** Establecer y comunicar expectativas elevadas

Al inicio de la primera sesión se realizó una evaluación con un considerable grado de dificultad. Esta evaluación diagnóstica en primera instancia permitió conocer las ideas que inicialmente tenían los alumnos con respecto a la mecánica cuántica, pero también ayudó a establecer el nivel que se alcanzarían al término de las ocho sesiones. Al final de las sesiones el cambio en los alumnos es notable, y donde inicialmente presentaban respuestas ambiguas ahora logran expresar ideas concretas y aportar ejemplos congruentes con los principios de la mecánica cuántica (ver apartado 4.1).

- **PR6.** Brindar oportunidades de participación significativa

Dado que el aprendizaje se centra en los estudiantes, son ellos quienes deciden qué contenidos importantes de cada sesión se deben de incluir en la contraportada del sobre para apoyar su proceso de aprendizaje.

4.4 Conclusión

Al término de las ocho sesiones los alumnos pueden identificar los estados cuánticos, la cantidad cuantizada y la probabilidad asociada en diferentes analogías cuánticas inscritas en el contexto de su vida cotidiana. Además, pueden aplicar estos principios para la descripción de un sistema cuántico formal (la luz de un láser) utilizando datos experimentales reales. Esto es un avance significativo, si se considera que antes de iniciar las sesiones de enseñanza los alumnos no eran capaces de reconocer algún sistema cuántico.

Sin embargo, se debe notar que en esta propuesta de intervención los estudiantes no se limitan a la descripción de varios sistemas cuánticos concretos que forman parte de su vida cotidiana y un sistema cuántico formal. Ya que después de establecer una descripción cuántica de la luz, como una colección de fotones, los alumnos se involucran en la tarea de generar un modelo que justifique la emisión de fotones. Así responden a la pregunta de ¿Cómo se produce la luz? Mediante un modelo que relaciona el color, la frecuencia y la energía de los fotones. En cada sesión se han utilizado analogías cuánticas que gradualmente fueron incrementando su nivel de abstracción hasta llegar al espectro (cuantizado) emitido por un átomo.

En las sesiones, los alumnos tienen que lograr la aplicación de diferentes verbos de la dimensión del proceso cognitivo de acuerdo a la tabla 31.

Tabla 31. Taxonomía de Bloom. Sesiones 1-8.

LA DIMENSIÓN DEL CONOCIMIENTO	LA DIMENSIÓN DE PROCESO COGNITIVO					
	1. Recordar	2. Comprender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Evaluar	6. Crear
A. El conocimiento de hechos	Sesión 1 Sesión 2 Sesión 3-4	Sesión 3-4	Sesión 5			
B. El conocimiento conceptual	Sesión 7	Sesión 6 Sesión 8				
C. El conocimiento procedimental			Sesión 6			
D. Conocimiento metacognitivo						

Esta tabla, evidencia que la propuesta de tesis se centra en las primeras tres dimensiones del conocimiento A-C. La extensión hacia la dimensión D. Conocimiento metacognitivo puede mejorar el desempeño de los estudiantes, y ser una pieza fundamental para aplicar los principios que describen a los sistemas cuánticos en más ejemplos que son formalmente reconocidos por la disciplina.

Esta propuesta de intervención permite la descripción de analogías cuánticas (por ejemplo: la moneda y el dado) y sistemas cuánticos formales (por ejemplo: la luz láser y el espectro de un átomo). Lo cual se relaciona directamente con el ejercicio, por parte de los alumnos, de ocho de las competencias disciplinares básicas de las ciencias experimentales (CDB1-CDB14) señaladas en la RIEMS (ver capítulo 1). Estas competencias están orientadas a que los estudiantes conozcan y apliquen los métodos y procedimientos de las ciencias experimentales para la resolución de problemas cotidianos y para la comprensión racional de su entorno (SEP, 2008), ver tabla 32.

Tabla 32. Relación entre esta propuesta de intervención (tesis MADEMS) y las Competencias Disciplinarias Básicas (CDB) señaladas en la RIEMS (SEP, 2008)

Competencias disciplinarias básica de las ciencias experimentales	Ejemplo de aplicación por parte los alumnos
CDB3. Identifica problemas, formula preguntas de carácter científico y plantea las hipótesis necesarias para responderlas.	Durante las ocho sesiones de enseñanza el uso reiterado de modelo de exposición-discusión brinda el espacio necesario para que los estudiantes logren formular y responder preguntas relacionadas con los sistemas cuánticos. Además, utilizando el modelo inductivo, pueden corroborar la validez de las hipótesis que les permiten elaborar una respuesta en el contexto científico de la mecánica cuántica.
CDB4. Obtiene, registra y sistematiza la información para responder a preguntas de carácter científico, consultando fuentes relevantes y realizando experimentos pertinentes.	Utilizan dos analogías cuánticas (dados y monedas) que les permiten obtener datos experimentales para construir vectores de estado. Usan datos experimentales reales para describir un sistema cuántico formal (el láser) mediante su correspondiente vector de estado.
CDB5. Contrasta los resultados obtenidos en una investigación o experimento con hipótesis previas y comunica sus conclusiones.	Comparan la predicción teórica para una analogía cuántica (vector de estado teórico) con el resultado experimental (vector de estado experimental), y establecen las condiciones necesarias para la convergencia entre ambos resultados.
CDB6. Valora las preconcepciones personales o comunes sobre diversos fenómenos naturales a partir de evidencias científicas.	Reconocen los tres elementos principales que caracterizan un sistema cuántico (estados, probabilidades asociadas y cantidad cuantizada) en diversas analogías cuánticas de su vida cotidiana y un sistema cuántico formal (el láser).
CDB8. Explica el funcionamiento de máquinas de uso común a partir de nociones científicas.	Infieren un modelo atómico de múltiples niveles de energía que admite transiciones energéticas para justificar el espectro de emisión de una lámpara de descarga del alumbrado público.
CDB9. Diseña modelos o prototipos para resolver problemas, satisfacer necesidades o demostrar principios científicos.	
CDB10. Relaciona las expresiones simbólicas de un fenómeno de la naturaleza y los rasgos observables a simple vista o mediante instrumentos o modelos científicos.	Repiten la notación de Dirac para expresar los estados accesibles de sistemas cuánticos análogos (analogías cuánticas) y sistemas cuánticos formales.
CDB14. Aplica normas de seguridad en el manejo de sustancias, instrumentos y equipo en la realización de actividades de su vida cotidiana.	Establecen normas de seguridad para el uso de una rejilla de difracción por reflexión (CD), que se encuentra en su contexto familiar.

Por otra parte, como se señala en el apartado de ética profesional del docente de ciencias (ver capítulo 1) la labor de este profesional no se limita a fomentar en los estudiantes el desarrollo de habilidades vinculadas al aspecto disciplinario (que en este caso específico corresponde a la mecánica cuántica). Es necesario también un desarrollo personal y social del estudiante, lo cual puede lograrse mediante la construcción de la resiliencia educativa. De forma natural la mecánica cuántica brinda la oportunidad al estudiante de enfrentarse a una situación particularmente problemática y superarla de forma positiva; es decir, el aprendizaje de la mecánica cuántica es un proceso que implica la construcción de la resiliencia educativa. Y utilizando el índice de efectividad resiliente total (IER_{Total}) es posible evaluar el papel del docente como promotor de la resiliencia (ver figura 51).

Además, la estructura teórica conformada por cuatro niveles y presentada en el capítulo 2, que inscribe esta propuesta de intervención dentro de la corriente constructivista, se basa en el ejercicio de los principios P1-P4. Estos principios son particularmente relevantes ya que su adecuado funcionamiento permite establecer una comunidad de aprendizaje entre los estudiantes (nivel 4 de la estructura teórica, ver figura 6). Para evaluar el papel del docente como promotor de una comunidad de aprendizaje se definió el índice de efectividad pedagógica total (IEP_{Total}), ver figura 51.



Figura 51. Indicadores (porcentuales) de la ejecución promedio de los CO desde la perspectiva pedagógica (IEP) y resiliente (IER).

Ambos índices reflejan el compromiso del docente, como promotor de resiliencia y como promotor de una comunidad de aprendizaje respectivamente ¿Pero qué utilidad práctica pueden tener estos indicadores?

De acuerdo con Freire (1984), saber leer y escribir es relativamente fácil, pero tener la capacidad para desarrollar un constante proceso cognoscitivo para pronunciar el mundo, requiere de un esfuerzo mayor, y es necesario que los estudiantes asuman un papel creativo pensante ante su realidad (Freire, 1984). Para este autor, el alumno alcanza un rol creativo

mediante la “concientización”, proceso por el cual, en la relación sujeto-objeto, el sujeto se torna capaz de percibir, en términos críticos, la unidad dialéctica entre él y el objeto (Freire, 1985). La concientización se establece dentro de la unidad teoría-práctica, por lo tanto, se necesita una herramienta operativa (i.e. práctica) pero con sustento teórico para fomentarla. Los criterios de operación CO1-CO16 pueden ser esta herramienta, y por ende serían las pautas a seguir para establecer la concientización de los estudiantes. Y ya que los índices (totales) de efectividad pedagógica (IEP_{Total}) y resiliente (IER_{Total}) están constituidos por la ejecución promedio de los criterios CO1-CO16, se pueden utilizar como indicadores para evaluar cómo el docente fomenta el proceso de concientización entre sus alumnos. De esta forma, cuando el docente evalúa los CO mediante los índices de efectividad (IEP_{Total} y IER_{Total}) obtendría evidencia del proceso de concientización, e incluso podría tomar decisiones sobre qué aspectos mejorar en su ejercicio profesional para que los alumnos puedan lograr dicho proceso de toma de conciencia.

Capítulo 5

Conclusiones generales y trabajo a futuro

La mecánica cuántica describe la naturaleza como algo absurdo al sentido común. Pero concuerda plenamente con las pruebas experimentales. Por lo tanto espero que ustedes puedan aceptar a la naturaleza tal y como es: absurda.

R. Feynman (1988)

La mecánica cuántica surge como producto cultural que satisface nuestra sed de conocimiento. Recurrimos a ella no por capricho, en el fondo nuestro espíritu mecanicista bien quisiera que Newton bastara para describir el mundo al imponer nuestro orden sobre los fenómenos universales. Tampoco recurrimos a ella por un capricho, planteando un título (novela) de ciencia-ficción acerca de un universo que formaría parte del género ¿Qué pasaría si? (*¿What if?*).

Recurrimos a la mecánica cuántica porque en la actualidad es la mejor manera que tenemos para describir a los sistemas cuantizados y que además son intrínsecamente probabilísticos. Desde una perspectiva científica la cuántica es fructífera al brindarnos la posibilidad de explicar fenómenos que antes nos eran inaccesibles, desde el punto de vista filosófico (ético) la mecánica cuántica es virtuosa ya que es la mejor manera de realizar nuestro fin como únicos relatores del universo (continuo o cuantizado).

Para la enseñanza de esta rama de la física he optado por diseñar situaciones que proporcionan un escenario donde los estudiantes se relacionan con la mecánica cuántica de forma natural. Es decir, los alumnos encuentran sistemas cuánticos en sus bolsillos (monedas) o los reconocen como una parte esencial de los juegos de mesa que formaron parte de su primera infancia (dados). No he reinventado las monedas y dados, sino que invito al estudiante a reconocerlos como analogías cuánticas, mismas que pueden ser descritas mediante estados, cuantos y probabilidades.

Los estudiantes responden positivamente a esta invitación, y proponen nuevas analogías inscritas en el contexto de su vida cotidiana. Esta mecánica cuántica “de juguete” que parte de ejemplos cercanos, tiene la posibilidad de dirigirse hacia sistemas cada vez más formales. Por ejemplo, describir una lluvia de gotones permite describir una fuente que emite fotones (láser).

Además, en cada escenario se mantiene un compromiso de facto con el carácter experimental de la mecánica cuántica. Así, en las situaciones cercanas los alumnos usan sus propios datos experimentales y en los ejemplos formales se procura utilizar datos experimentales reales (ver figura 52).



Figura 52. (Izquierda) Imagen (Villalobos, 2008), proporcionada por el profesor en la evaluación sumativa de la sesión 8, del espectro de emisión de la lámpara de sodio (a alta presión) que se utiliza en el alumbrado público. (Derecha) Espectro de emisión de una lámpara del alumbrado detectado por un alumno utilizando su celular y un CD como rejilla de difracción por reflexión.

En este trabajo se ha realizado un análisis de los contenidos fundamentales de la mecánica cuántica (estados, cuantos y probabilidades asociadas) con la intención de establecer una forma de enseñanza más completa, que atienda a las necesidades de los alumnos y en qué además el aprendizaje del contenido disciplinario resulte de la necesidad de describir e intentar explicar sistemas cuantizados inscritos en el contexto familiar del alumno (analogías cuánticas) y dos sistemas cuánticos formales (la luz láser y el espectro de emisión de un átomo). Sin embargo, el uso de la analogía no es infalible, es decir no escapamos de fomentar concepciones erróneas. En las analogías cuánticas utilizadas, los alumnos

reconocen como cuántos únicamente a los números naturales, cuando en general los números cuánticos también admiten cantidades enteras (ver figura 41, capítulo 4). Por lo tanto, el siguiente paso consiste en identificar sistemas análogos (i.e. analogías cuánticas) que permitan introducir números cuánticos negativos.

Además de generalizar este trabajo para obtener cantidades cuánticas negativas, se puede postular como objetivo a futuro, la construcción de las herramientas que permitan interactuar con los estados cuánticos. Es decir, la extensión de este trabajo es el desarrollo de operadores cuánticos análogos y formales, para establecer la relación eigenvector-eigenvalor (valor propio). De esta forma se podrían obtener valores esperados de cantidades físicas observables (i.e. reales). Por ejemplo, para el sistema cuántico moneda se tendría un operador análogo al espín del electrón, y los vectores propios de este operador corresponderían al estado águila y al sol. A su vez, para el sistema cuántico dado se puede utilizar un operador análogo al operador de número en el oscilador armónico cuántico, los vectores propios corresponderían a los estados de número y los valores propios serían los números cuánticos señalados en las caras del dado. Así, este camino que utiliza analogías, también puede ser fructífero para construir el álgebra de operadores hermitianos (i.e. con eigenvalores reales).

BIBLIOGRAFÍA

Aboites, V. y Vega, J. (2002). *Enfriamiento de átomos por láser*. México: Fondo de Cultura Económica.

Acevedo, A. y Mondragón, H. (2005). *Resiliencia y Escuela*. Revista Pensamiento Psicológico. Volumen 1, No.5, pp.21-35.

Anderson, L. y Krathwohl, D. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing, a Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. EUA: Addison Wesley Longman.

Barojas, J. (2004). *Teacher training as collaborative problem solving*. Educational Technology and Society. Volumen 6, No.3, pp.21-28.

Barojas, J. Martínez M. (2013). *Desarrollo de la resiliencia educativo en alumnos de primer ingreso*. Tercera Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la educación superior.

Benard, B. (1993). *Fostering Resiliency in Kids*. Character Education. Volumen 51, No.3, pp.44-48.

Beuchot, M. (2004). *Ética*. México: Editorial Torres Asociados.

Beuchot, M. (2008). *Perfiles Esenciales de la Hermenéutica*. México: Fondo de Cultura Económica.

Bransford, J et al. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. E.U.A: National Academy Press.

Brickart y Wolin, S. (1997). *Practicing Resilience in the Elementary Classroom*. Principal Magazine. www.projectresilience.com/article17.htm Consultado el 15 de febrero del 2013.

Brophy, J. (1986). *Research linking teacher behavior to student achievement: Potential implications for instruction of Chapter 1 students*. E.U.A.: Designs for Compensatory Education Conference proceedings and papers.

Campanario, J. y Moya, A. (1999). *¿Cómo enseñar Ciencias? Principales Tendencias y Propuestas*. Revista Enseñanza de las Ciencias. Volumen 17, No.2, pp.179-192.

Campos, E. (2012). *Física más que divertida. Tomo I*. México: Nueva Editorial Iztaccihuatl.

Cedrón, J. y Landa, V. y Robles, J. (2011). *Material de enseñanza*. Pontificia Universidad Católica del Perú, <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/propiedades-de-las-ondas-electromagneticas-teoria-cuantica-de-planck-contribucion-de-bohr-.html> Consultado el 30 de mayo del 2015.

Cohen-Tannoudji, C. y Bernard, F. (1977) *Quantum mechanics* (3ª ed). Volumen 1. E.U.A.: Wiley.

De la Peña, L. (2006). *Introducción a la Mecánica Cuántica* (3ª ed). México: Ediciones Científicas Universitarias.

Díaz-Barriga, A. (2011). *La prueba PISA 2006*. México: Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación (UNAM).

Dirac, P. (1939). *A new notation for quantum mechanics*. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. Volumen 35, No.3, pp.416-418.

Dobson, K. y Lawrence, I. y Britton, P. (2000). The A to B of quantum physics. *Physics Education*, Volumen 35, No. 6, pp.400-405.

Durkheim, E. (1996). *Educación y sociología*. México: Ediciones Coyoacán.

Eggen, P. y Kauchak, D. (2004). *Educational psychology: Windows on classrooms* (6ª ed). E.U.A.: Merrill/Prentice Hall.

Eggen, P. y Kauchak, D. (2009). *Estrategias Docentes. Enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento* (3ª ed). México: Fondo de Cultura Económica.

Feynman, R. (1988) *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. E.U.A.: Princeton University Press.

Feynman, R. (2005). *The Feynman Lectures on Physics* (2ª ed). E.U.A: Addison-Wesley. Volumen 3, pp.1-11.

Freire, P. (1984). *La importancia del leer en el proceso de liberación* (3ª ed). México: Siglo veintiuno editores.

Freire, P. (1985). *Pedagogía del oprimido* (3ª ed.). México: Siglo veintiuno editores.

Gándara, R. (2014). "Ética para Amador", *Savater detrás del espejo*. <http://biblio.juridicas.unam.mx/revista/HechosyDerechos/cont/23/art32.htm> Consultado el 3 de mayo del 2016.

Garritz, A. y Trinidad R. (2004). *El conocimiento pedagógico del contenido*. Educación Química. Volumen 15, No. 2, pp.2-4.

Garritz, A. (2010). *La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI, caracterizada por la incertidumbre*. Educación Química. Volumen 21, No. 1, pp.2-15.

Gavira, J. (2014). *Tabla periódica de los espectros de emisión de los elementos*. <http://triplenlace.com/2014/06/18/tabla-periodica-de-los-espectros-de-emision-de-los-elementos/> Consultado el 18 de junio del 2014.

Giliberti, M. y Lanz, L. (2003). *Teaching Quantum Physics to Student Teachers of S.I.L.S.I.S. Second International GIREP Seminar on Quality Development in Teacher Education and Training*, pp.425-428. <http://www.fisica.uniud.it/URDF/articoli/ftp/2004/2004-13.pdf> Consultado el 20 de junio del 2015.

González, N. y Valdez, J. y Oudhof, H. y González, E. (2009). *Resiliencia y salud en Niños y Adolescentes*. Revista CIENCIA ergo sum. Volumen 16, No.3, pp.247-253.

Hadzidaki, P. y Kalkanis, G. y Stavrou, D. (2000). Quantum mechanics: a systemic component of the modern physics paradigm. *Physics Education*, Volumen 35, No. 6, pp.386-392.

Hansen, L. (2002). *Defining Inquiry*. *The Science Teacher*. Volumen 69, No.2, pp.34-37.

Harris, T. (2001). *How Light Sticks Work*, <http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick.htm> Consultado el 25 de abril del 2016.

Hawking, S. (2001). *El universo en una cáscara de nuez*. España: Editorial Crítica.

Hecht, E. (2000). *Óptica* (3ª ed.). México: Pearson-Addison-Wesley.

Henderson, N. y Milstein, M. (1996). *Resiliency in schools. Making it happen for students and educators*. E.U.A. : Corwin Press.

Hoehn, R. y Mack, N. y Kais, S. (2014). *Using Quantum Games To Teach Quantum Mechanics, Part 2*. *Journal of Chemical Education*. Volumen 91, No.3, pp.423-427.

Instituto Nacional para Evaluación de la Educación (INEE). (2010). <http://sedesol.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2011/09/doc29.pdf> Consultado el 16 de marzo del 2013.

Instituto Nacional para Evaluación de la Educación (INEE) (2011). <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=38043190> Consultado el 20 de marzo del 2013.

Ireson, G. (2000). *A brief history of quantum phenomena*. Physics Education, Volumen 35, No. 6, pp.381-386.

Jiménez, M. y Caamaño, A. y Oñorbe, A. y Pedrinaci, E. y de Pro, A. (2003). *Enseñar ciencias*. España: Editorial Graó.

Johnston, I. y Crawford, K. y Fletcher, P. (1998). *Student difficulties in learning quantum mechanics*. International Journal of Science Education. Volumen 20, No.4, pp.427-446.

Jones, D. (1991). *Teaching modern physics – misconceptions of the photon that can damage understanding*. Physics Education. Volumen 26, pp.93-98.

Koopman, L. y Kaper, W. y Ellermeijer, A. (2006). *Learning Quantum Mechanics through Experience*. In E. van den Berg, T. Ellermeijer, & O. Slooten (Eds.), Proceedings GIREP conference 2006: Modeling in Physics and Physics Education (pp. 704–708). The Netherlands: University of Amsterdam. <http://home.medewerker.uva.nl/o.slooten/bestanden/Girep%20Proceedings%20CD.pdf> Consultado el 2 de junio del 2016.

Lawrence, I. (1996). *Quantum physics in school*. Physics Education, Volumen 31, No. 5, pp.278-286.

Linn, M. y Hsi, S. (2000). *Science learning partners*. Lawrence Erlbaum Associates, Computers, Teacher, Peers.

Mallart, J. (2001). *Didáctica general para psicopedagogos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España). <http://www.xtec.cat/~tperulle/act0696/notesUned/tema1.pdf> Consultado el 12 de junio del 2013.

Márquez, G. (1978). *La Luz es como el agua*. http://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/luz_agua_marquez.pdf Consultado el 6 de mayo del 2013.

Martin, J. (1974). Quantum mechanics from the cradle?. Physics Education, Volumen 9, No. 7, pp.448-451.

Martínez, C. y Bastarrachea, M. y Ramírez, N. y Velázquez, V. (2008). *¿Qué tan cuántica es una fuente coherente?* México: LI Congreso Nacional de Física.

Martínez, C. y Barojas, J. (2012). *Una ética profesional basada en la resiliencia educativa*. IV Coloquio de Filosofía de la Educación (UNAM).

Martínez, C. (2012). *www.grup404.blogspot.mx* Consultado el 10 de noviembre del 2013.

McDermott, L. y Shaffer, P. y Constantinou, C. (2000). *Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry*. *Physics Education*, Volumen 35, No. 6, pp.411-416.

Michelini, M. y Ragazzon, R. y Santi, L. y Stefanel, A. (2000). *Proposal for quantum physics in secondary school*. *Physics Education*, Volumen 35, No. 6, pp.406-410.

Michelini, M. (2012). *Taller de Física Contemporánea*. Escuela Internacional MADEMS.

Moliner, M. (1992). *Diccionario de Uso del Español*. España: Gredos.

Monroy, B. y Palacios, L. (2011). *Resiliencia: ¿Es posible medirla e influir en ella?*. *Salud mental*, Volumen 34, No.3, pp.237-246.

Moreira, M. (2012). *¿Al final, qué es el aprendizaje significativo?*. *Revista Currículum*, No. 25, pp. 29-56.

Orduña, M. (2014). *Panorama Educativo de México 2013, Indicadores del Sistema Educativo Nacional Educación Básica y Media Superior*. Instituto Nacional para Evaluación de la Educación. <http://publicaciones.inee.edu.mx/buscadorPub/P1/B/112/P1B112.pdf> Consultado el 3 de mayo del 2016.

Ormrod, J. (2004). *Human learning* (4ª ed.). E.U.A.: Merrill/Prentice Hall.

Palacios, A. (2015). *Mediación Escolar Promoción Bajo el Enfoque de la Resiliencia*. *Revista de Athenea de la Academia Peruana de Psicología*, Año 6, No.7, pp.84-91.

Petri, J. y Niedderer, H. (1998). *A learning pathway in high-school level quantum atomic physics*. *International Journal of Science Education*. Volumen 20, No.9, pp.1075-1088.

Pineda, O. (2009). *Inducción y deducción como origen de la ciencia*. *Konvergencias Filosofía y Culturas en Diálogo*, Año 7, No. 21, pp.122-133.

Pintrich, P. y Schunk, D. (2002). *Motivation in education: Theory, research, and applications* (2ª ed.). E.U.A.: Prentice Hall.

Programme for International Student Assessment (PISA)
www.oecd.org/pisa/pisaenespaol.htm Consultado el 20 de marzo del 2016.

Posner, J. y Strike, K. y Peter, H. y Gertzog, W. (1982). *Accommodation of a Scientific Conception: Toward a theory of conceptual change*. Science Education, Volumen 66, No.2, pp.211-227.

Pozo, J. (1999). *El aprendizaje de la ciencia como un Cambio Representacional*. Revista Enseñanza de las Ciencias, Volumen 17, No.3, pp.513-520.

Pozo, J. y Gómez, M. (2001). *Aprende y Enseñar Ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (3ª ed.). España: Ediciones Morata.

Pozo, J. (2002). *Aprendices y Maestros, la nueva cultura del aprendizaje*. España: Alianza.

Ramos, J. (2012). *Física II*. México: Colegio de Ciencias y Humanidades (UNAM).

Rodríguez, J. y Tejedor, J. (1996) *Evaluación educativa I. Evaluación de los aprendizajes de los alumnos*. España: Documentos Didácticos No. 158. España: Instituto Universitario de Ciencias de la Educación. Universidad de Salamanca.

Sakuray, J. (1994). *Modern Quantum Mechanics* (2ª ed). E.U.A: Addison-Wesley.

Schunk, D. (2004). *Learning theories: An educational perspective* (4ª ed.). E.U.A.: Merrill/Prentice Hall.

Secretaría de Educación Pública (SEP) (2008). *Reforma Integral para la Educación Media Superior (RIEMS)*, <http://cosdac.sems.gob.mx/portal/index.php/riems> Consultado el 9 de abril del 2016.

Serway, R. (1997). *Física. Tomo II* (4ª ed). México: McGraw-Hil.

Serway, R y Jewett, J. (2003). *Física II. Texto basado en cálculo* (3ª ed). México: Thomson.

Shankar, R. (1994). *Principles of Quantum Mechanics* (2ª ed) E.U.A: Plenum Press.

Stipek, J. (2002). *Motivation to learn: integrating theory and practice* (4ª ed.). E.U.A.: Allyn and Bacon.

Tsaparlis, G. (2001). *Towards a meaningful introduction to the schrödinger equation through historical and heuristic approaches*. Chemistry Education: Research and Practice in Europe. Volumen 2, No.3, pp.203-213.

Universidad Autónoma de México (UNAM) (1996). *ENP-Planes de Estudio*. <http://dgenp.unam.mx/planesdeestudio/> Consultado el 10 de abril del 2016.

Villalobos, A. (2008). *Digitalización y Análisis de Espectros Aficionados*, http://hombrosdegigantes.blogspot.mx/2008_04_01_archive.html Consultado el 13 de marzo del 2013.

Viniegra, F. (2001). *Una mecánica sin talachas* (2ª ed.). México: Fondo de cultura económica.

Zabala, A. (2013). *Del currículum al aula. Orientaciones y sugerencias para aplicar la RIEB*. México: Editorial Graó/Colofón.

Zorrilla, J. (2008). *El Bachillerato mexicano: un sistema académicamente precario*. México: Instituto de Investigaciones Sobre la Universidad y la Educación (UNAM).

ANEXO 1. SESIONES DE ENSEÑANZA 1-8

A1.0 Introducción

En el primer capítulo se presentó una ética profesional para el docente de ciencias que le permite al profesor asumir su compromiso con una enseñanza que enfatiza las cuatro virtudes cardinales, desarrolla la resiliencia educativa de los alumnos y fomenta el pensamiento científico (ver figura 1).



Figura 1.- Diagrama de la ética profesional y los elementos que le compete.

Cada una de las ocho sesiones de enseñanza debe ser congruente y en sí misma una expresión de esta propuesta de ética profesional basada en la triada anteriormente señalada.

A1.1 Las virtudes cardinales y las sesiones de enseñanza

En atención a las cuatro virtudes cardinales, de forma transversal durante las ocho sesiones se implementaron las siguientes cuatro acciones vinculadas con el fomento de estas virtudes.

Tabla 1. Acciones relacionadas con las virtudes cardinales

Acciones	Relación con las virtudes cardinales
Trabajo colaborativo entre estudiantes	Los alumnos tienen que moderar su comportamiento para realizar exitosamente los experimentos, acatar las normas de seguridad, realizar el análisis de los datos experimentales, construir analogías y establecer las conclusiones de cada una de las sesiones. Por lo tanto, esta actividad está vinculada al ejercicio de la virtud: PRUDENCIA.
Expresión oral y escrita de las ideas de los alumnos	Los alumnos tienen que sobrellevar la carga de lograr expresar sus ideas ya sea de forma oral o escrita. Además, en cada aportación realizada se deberá evitar caer en posturas extremas (absolutos) que sofoquen la expresión de las ideas de otros compañeros. Por lo tanto, esta actividad está vinculada al ejercicio de las virtudes: FORTALEZA y PRUDENCIA.
Administración del tiempo para la ejecución de actividades en clase y extra clase	Pese a las actividades lúdicas y extracurriculares inherentes a su edad, los alumnos tienen que preservar un espacio de tiempo suficiente para realizar las actividades formativas y sumativas que extra clase complementan los aprendizajes. Además, dentro de la clase los alumnos deberán adecuar sus actitudes para completar las actividades en el tiempo establecido. Por lo tanto, esta actividad está vinculada al ejercicio de las virtudes: TEMPLANZA y PRUDENCIA.
Uso del diálogo para lograr acuerdos entre pares	Los alumnos tienen que dirimir sus diferencias reconociendo la relación entre el bien personal y el bien grupal, además tienen que mostrar una actitud mesurada que les permita consolidar acuerdos que involucren una reestructuración de sus ideas. Por lo tanto, esta actividad está vinculada al ejercicio de las virtudes: JUSTICIA y PRUDENCIA.

Cabe señalar que la virtud “prudencia” mantiene su rol de “llave de las virtudes” (ver capítulo 1) y acompañan el ejercicio de las otras tres virtudes en cada actividad de la tabla anterior.

A1.2 La resiliencia, el pensamiento científico y las sesiones de enseñanza

Para mostrar los otros dos aspectos de la ética profesional (ver figura 1) a continuación se presentan las ocho sesiones de enseñanza de los principios de la mecánica cuántica, en un formato conformado por las siguientes cuatro secciones:

● Sección 1. Resumen

En esta sección brevemente se describen las actividades y objetivos disciplinarios que se espera puedan alcanzar los estudiantes al término de la sesión. Y aunque cada sesión contempla diferentes objetivos todos coadyuvan al desarrollar del pensamiento científico de los estudiantes con respecto a la mecánica cuántica.

● Sección 2. Carta descriptiva

La carta descriptiva es una herramienta en la que el docente sintetiza la planeación de una sesión de enseñanza, está conformada por los cuatro apartados descritos en la tabla 2.

Tabla 2. Apartados de una carta descriptiva

Apartados	Descripción
DATOS GENERALES	Incluye el título de la sesión y la ubica dentro del contexto del temario correspondiente a una asignatura. Además, presenta la duración, el grupo, la fecha de aplicación y el número de la sesión.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Detalla los objetivos disciplinarios y los criterios de operación (pedagógicos - resilientes) aplicados durante la sesión.
ORGANIZADOR DE AVANCE	Presenta los conceptos previos y los conceptos a desarrollar en la sesión.
MATERIAL DIDÁCTICO	En esta sección se especifican los materiales didácticos utilizados por el profesor y los alumnos.
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	Se presentan el índice de las actividades implementadas durante la sesión.
EVALUACIÓN	Por último, se presenta la modalidad de evaluación (diagnóstica, formativa o sumativa) y la forma de aplicación (durante la clase o extra clase).

Particularmente en el apartado “objetivos específicos” se ubican los aprendizajes disciplinarios de la sesión (vinculados al desarrollo del pensamiento científico) y los criterios de operación ejercitados en la sesión (los cuales se relacionan directamente con el desarrollo de la resiliencia educativa cómo se presentó capítulo 2).

● Sección 3. Descripción de actividades

De acuerdo a la estructura teórica presentada en el capítulo 2 se utilizó una combinación de los modelos didácticos inductivo y de exposición-discusión. Por esta razón para la descripción de las actividades se realizó conforme a las tres fases del modelo didáctico de exposición discusión (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) y además para los procedimientos de índole experimental se especificó el tipo de trabajo práctico implementado (abierto, guiado, acoplado o estructurado).

● Sección 4. Reflexión sobre la práctica docente

Esta sección ubica cada uno de los criterios de operación (CO1-CO16) en los procedimientos realizados durante la sesión y además en un ejercicio autocrítico se evalúa la ejecución de cada CO. Esta actividad es particularmente relevante ya que estos datos son utilizados en el capítulo 4 para el cálculo del índice de efectividad resiliente (IER) y el índice de efectividad pedagógico (IEP). Además, para cerrar la cuarta sección se presenta una gráfica con la relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes, ya que esta herramienta permite mostrar la transformación de una clase centrada en el profesor hacia una clase centrada en los estudiantes. Este proceso de transferencia de responsabilidad hacia los alumnos queda evidenciado cuando el número de procedimientos realizados por los estudiantes logra superar al número de procedimientos guiados por el profesor.

A1.3 Primera sesión, sistemas cuánticos de dos estados (monedas)

○ Resumen

En la primera sesión antes de cualquier actividad de enseñanza, los alumnos expresan sus ideas sobre la mecánica cuántica en un cuestionario diagnóstico. En el desarrollo de la sección los alumnos identifican dos elementos que caracterizan a los sistemas cuánticos (estados y probabilidades) y además vinculan la descripción cuántica con su vida cotidiana utilizando un sistema cuántico familiar (sistema cuántico moneda). A continuación, se presenta la carta descriptiva correspondiente a la primera sesión.

○ Carta descriptiva de la sesión 1

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 2	Interacciones mecánicas, fuerza y movimiento.	Subtema	2.12 Más allá de Newton	
Tema a desarrollar	Sistemas cuánticos de dos estados	Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404	
				Fecha	06/11/2012	
				Sesión	1/8	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
			P1	P2	P3	P4
*Expresar ideas previas sobre los sistemas cuánticos.						
*Reconocer un sistema cuántico familiar de dos estados (moneda).			CO1	CO5	CO9	CO13
*Desarrollar las nociones básicas de probabilidad (teórica y experimental).			CO2	CO6	CO10	CO15
*Interpretar resultados probabilísticos			CO4		CO12	CO16
*Identificar dos características principales de los sistemas cuánticos.						

ORGANIZADOR DE AVANCE	
Ideas Previas:	Conceptos a Desarrollar:
-Ideas previas sobre mecánica cuántica -Mecánica Newtoniana	-Estados cuánticos (águila y sol) -Sistema cuántico (moneda) -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental
MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Monedas de diferentes denominaciones 	
MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)	
<ul style="list-style-type: none"> • Una moneda de diez pesos 	
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. Ideas previas sobre mecánica cuántica y el significado de “cuántico” • Actividad 2. La moneda, un sistema cuántico de dos estados • Actividad 3. Límites de la mecánica newtoniana 	
EVALUACIÓN	
Al inicio de la sesión se aplica un cuestionario (evaluación diagnóstica) para indagar las ideas previas de los alumnos sobre la mecánica cuántica y determinar de donde parten.	

○ Descripción de actividades

ACTIVIDAD 1. Ideas previas sobre mecánica cuántica y el significado de “cuántico”

Objetivo

Hacer explícitas las ideas previas respecto a la mecánica cuántica y determinar el significado de la palabra “cuántico”.

Fase 1. Introducción y presentación

El profesor se presenta frente al grupo y establece equipos de 3 a 4 integrantes. Enseguida reparte una evaluación diagnóstica y estipula un tiempo de diez minutos para realizarla. Al término de este intervalo recoge la evaluación y procura leer algunas de las respuestas.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

El profesor solicita a los alumnos que expresen algunas ideas vinculadas a las preguntas de la evaluación diagnóstica, y busca converger hacia una definición de la palabra “cuántico” cuyo significado es “contar con números enteros”. Una vez establecida esta definición presenta la siguiente analogía: “la mecánica Newtoniana es similar a subir (o bajar) por una rampa, es decir se pueden dar pasos de forma continua, en cambio la mecánica cuántica es similar a subir (o bajar) por una escalera donde las cantidades que se avanzan (escalones) ya están pre-establecidos y solamente se puede avanzar (o descender) un número natural de escalones” (comunicación privada entre los hermanos Barojas Weber, 2010). Esta analogía además permite definir a los estados como los escalones preestablecido que tiene un sistema cuántico (ver figura 2).

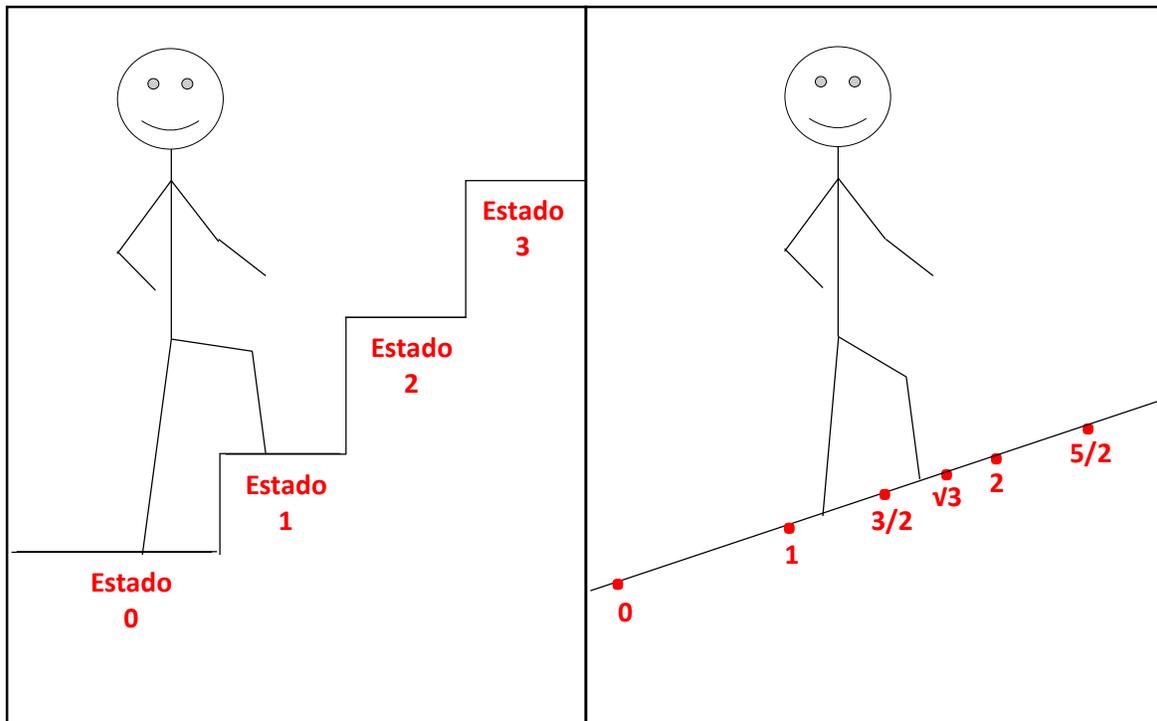


Figura 2. Para presentar la diferencia entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica se utiliza la siguiente analogía; al subir por una rampa (derecha) la longitud que se recorre es una variable continua (i.e. clásica) pues a voluntad se puede avanzar una cantidad entera, racional o irracional. En cambio, al subir por una escalera (izquierda) únicamente se pueden avanzar longitudes preestablecidas representadas por los escalones, por lo tanto, en este caso la longitud es una variable cuantizada.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor identifica a la mecánica cuántica como una descripción propia de sistemas donde los estados se pueden numerar mediante cantidades enteras (cuantos). Además, comenta algunas de las respuestas ambiguas que fueron presentadas en la evaluación diagnóstica y reconforta a los estudiantes indicando que al final de las sesiones tendrán el conocimiento necesario para satisfacer el nivel de estas preguntas.

ACTIVIDAD 2. La moneda, un sistema cuántico de dos estados

Objetivo

Reconocer un sistema cuántico de dos estados que les es familiar a los estudiantes: la moneda, e identificar dos de los principales elementos de este sistema cuántico.

Fase 1. Introducción y presentación
--

Tipo de trabajo práctico. Guiado

El profesor solicita a los alumnos que saquen de sus bolsillos un sistema cuántico, conforme los alumnos van vaciando sus bolsillos expresaran algunas propuestas, por ejemplo: el celular, las llaves, las monedas, los audífonos, etc. Es importante que el profesor no proporcione directamente las monedas pues parte de la intención de esta actividad es que el alumno note que los sistemas cuánticos se encuentran prácticamente por todas partes, incluyendo en sus bolsillos. Además, debe hacer resaltar que en sistema cuántico se deben diferenciar claramente los estados, y con este argumento es posible descartar diversos objetos hasta quedarse únicamente con las monedas.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración
--

Tipo de trabajo práctico. Acoplado

En seguida se pide que identifiquen los estados; águila y sol. Además, el profesor enfatiza que dichos estados tienen una probabilidad intrínsecamente asociada, mediante la pregunta ¿Cuáles la probabilidad de obtener (medir) el estado águila al hacer un experimento (lanzar la moneda)? Una vez que se ha establecido que la probabilidad de cada uno de los estados es $50\% = 1/2$, el profesor guía una discusión para definir la probabilidad teórica.

Después se solicita a cada equipo realice un número par de experimentos y se cuestiona a los estudiantes ¿Obtuvieron como resultado el mismo número águilas y soles? Con las respuestas de los alumnos el profesor dirige una discusión cuya finalidad es definir la probabilidad experimental.

Fase 3. Revisión y cierre

Con las aportaciones de los alumnos el profesor realiza en el pizarrón el siguiente mapa conceptual (ver figura 3), este concentra la información de los sistemas cuánticos (monedas de diferentes tamaños) que fueron utilizados durante esta actividad.

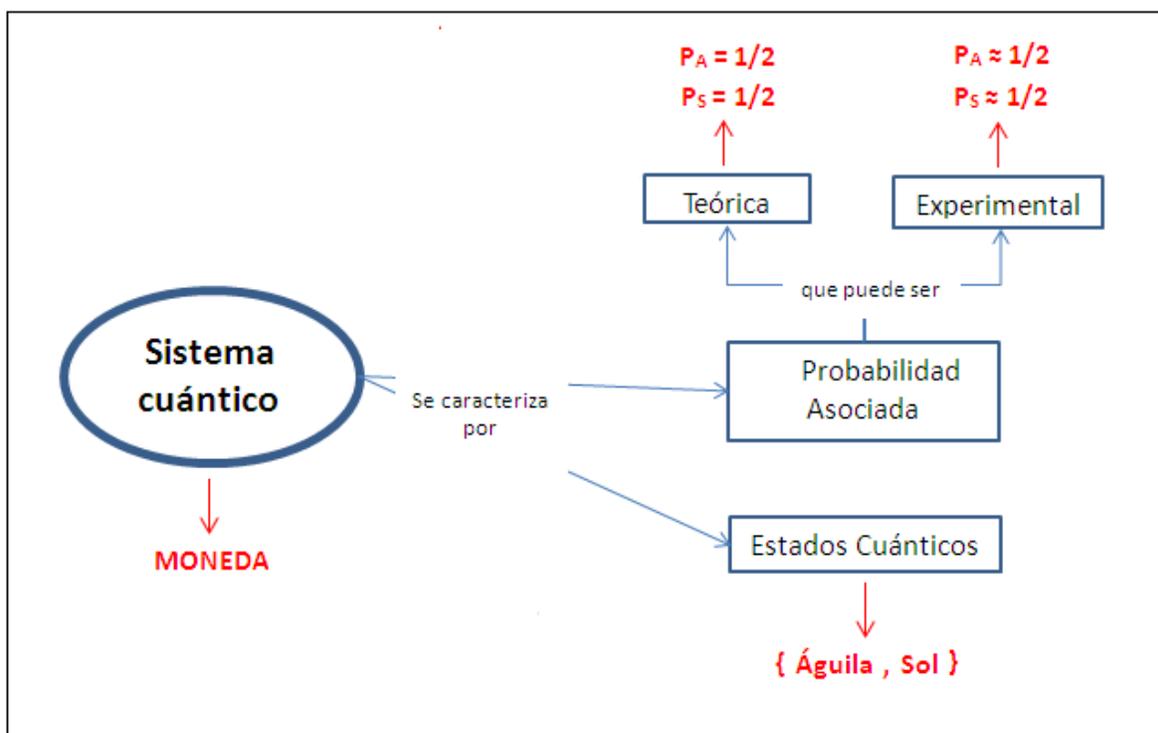


Figura 3. Mapa conceptual de la actividad 2.

Actividad 3. Límites de la mecánica Newtoniana

Objetivo

Reconocer a la mecánica cuántica como una alternativa sencilla que permite describir sistemas cuyos estados son intrínsecamente probabilísticos, es decir tienen una probabilidad asociada.

Fase 1. Introducción y presentación

El profesor inicia con la pregunta ¿Qué cantidades les parecen importantes en la mecánica de Newton? Y enlista las aportaciones de los alumnos en el pizarrón.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

Después de enlistar cantidades físicas como: velocidad, momento, fuerza, el profesor hace una serie de lanzamientos con la moneda y guía una discusión para concluir que a pesar de medir todas las variables que los alumnos han propuesto, no es posible predecir con toda certeza en qué estado (águila o sol) terminará la moneda, ya que el sistema es azaroso, es decir intrínsecamente probabilístico. Por lo cual únicamente se puede afirmar que existe una probabilidad de $1/2$ de obtener el estado águila o el estado sol después de hacer un experimento, el cual consiste en realizar un lanzamiento y medir (observar) de qué lado cae la moneda.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor enfatiza el éxito de la mecánica cuántica para describir sistemas donde los estados se pueden numerar mediante cantidades enteras y que además tienen de forma intrínseca una probabilidad asociada (como la moneda). Sistemas que por su naturaleza azarosa tienen una descripción deficiente desde el punto de vista de la mecánica newtoniana.

○ Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 1)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 3) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 4). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la primera sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 3 y 4).

Tabla 3. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Organiza una lluvia de ideas sobre la mecánica cuántica.	ACTIVIDAD 1. Fase 1 ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO1	Adecuada
		CO2	Excelente
		CO10	Deficiente
2. Presenta una analogía entre los estados cuánticos y los peldaños de una escalera.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
3. Comenta las respuestas de los estudiantes, los reconforta y comunica las expectativas de aprendizaje.	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO9	Adecuada
4. Presenta el concepto de probabilidad teórica.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO5	Adecuada
5. Presenta el concepto de probabilidad experimental.		CO13	Adecuada
6. Realiza el mapa conceptual de los sistemas cuánticos.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO12	Excelente
		CO16	Adecuada
7. Discute sobre los límites de la mecánica Newtoniana.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO6	Excelente
	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO13	Adecuada

Tabla 4. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Expresan comparten sus ideas previas sobre mecánica cuántica.	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO1	Deficiente
	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO2	Adecuada
2. Proponen un sistema cuántico cotidiano de dos estados (moneda).	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO5	Adecuada
		CO10	Excelente
		CO13	Adecuada
3. Calculan la probabilidad experimental para el sistema cuántico moneda.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO4	Adecuada
		CO15	Excelente
4. Proponen variables físicas de la mecánica newtoniana.	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO1	Deficiente
		CO2	Adecuada

La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes se presenta en la figura 4. La transformación de una clase centrada en el profesor hacia una clase centrada en los estudiantes consiste en un proceso de transferencia de responsabilidad hacia los alumnos, la evidencia de este proceso corresponde a lograr que el número de procedimientos realizados por los estudiantes supere a los procedimientos guiados por el profesor.

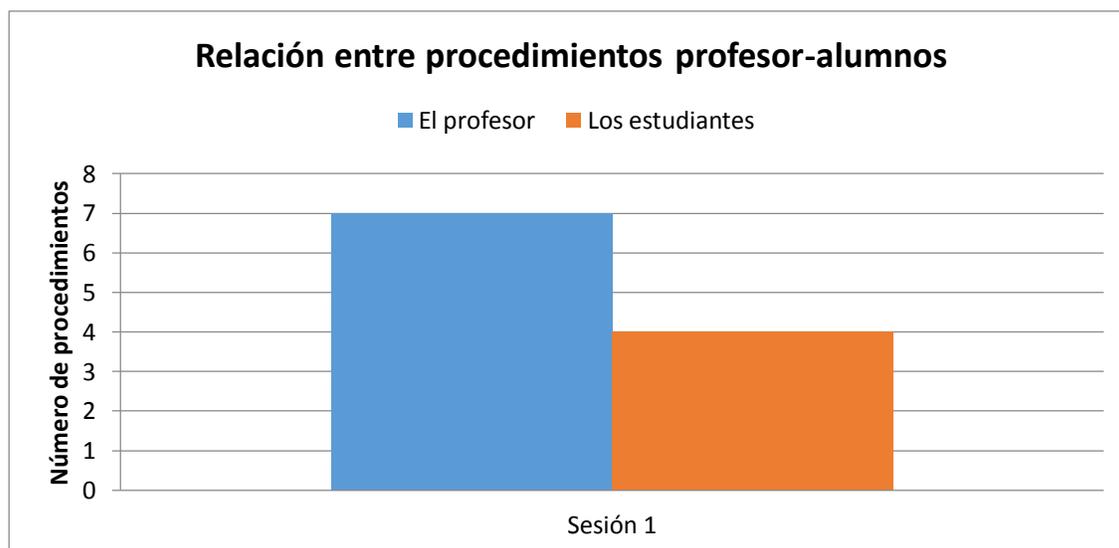


Figura 4. En la primera sesión el profesor tiene un papel más representativo que los estudiantes, sin embargo, a lo largo de las sesiones esta relación se invertirá hasta lograr que los procedimientos realizados por los estudiantes superen a los guiados por el profesor.

A1.4 Segunda sesión, sistemas cuánticos de seis estados (datos)

○ Resumen

En la segunda sesión los alumnos realizan una primera generalización al analizar un sistema con un mayor número de estados accesibles, aplicando los conceptos de estado cuántico y probabilidad desarrollados para el sistema de dos estados (moneda) al sistema cuántico de seis estados (dado de seis caras). Además, se introduce la notación de Dirac para nombrar los seis estados del sistema cuántico dado. Por último, los alumnos proponen un nuevo sistema cuántico de su vida cotidiana identificando los estados accesibles y sus respectivas probabilidades asociadas.

○ Carta descriptiva de la sesión 2

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 2	Interacciones mecánicas, fuerza y movimiento.		Subtema	2.12 Más allá de Newton
Tema a desarrollar	Sistemas cuánticos de seis estados.		Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404
					Fecha	07/11/2012
					Sesión	2/8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
*Extensión a un sistema cuántico familiar de seis estados (dado de seis caras). *Definición de la notación de Dirac. *Identificar estados y probabilidades en diferentes sistemas cuánticos de la vida cotidiana.			P1	P2	P3	P4
			CO1	CO5	CO10	CO13
			CO2		CO12	CO14
			CO4			CO15 CO16
ORGANIZADOR DE AVANCE						
Conceptos Previos:			Conceptos a Desarrollar:			
-Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental			-Notación de Dirac			

MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)

- Dados de fomi del mismo tamaño.
- Dados de diferentes tamaños.
- Dados esféricos.
- Etiquetas.



MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)

- Dado de seis caras, con 30cm de arista y caras intercambiables.
- Dado de cuatro caras, tetraedro cuya estructura está constituida por popotes unidos con hilo.



ACTIVIDADES DESARROLLADAS

- **Actividad 1.** La notación de Dirac
- **Actividad 2.** Múltiples sistemas cuánticos de seis estados
- **Actividad 3.** Sistemas cuánticos de la vida cotidiana

EVALUACIÓN

Esta evaluación formativa consistió en un cuestionario de cuatro preguntas (ver anexo 2) y fue realizado después de la segunda sesión directamente en el blog (www.grup404.blogspot.mx).

○ Descripción de actividades

ACTIVIDAD 1. La notación de Dirac

Objetivo

Reconocer al dado como un sistema cuántico de seis estados y utilizar la notación de Dirac para nombrar sus estados.

Fase 1. Introducción y presentación

Con la participación de los estudiantes el profesor recupera el mapa conceptual de la primera sesión y lo complementa para presentar la notación (de Dirac) que permite nombrar los estados accesibles del sistema cuántico (ver figura 5).

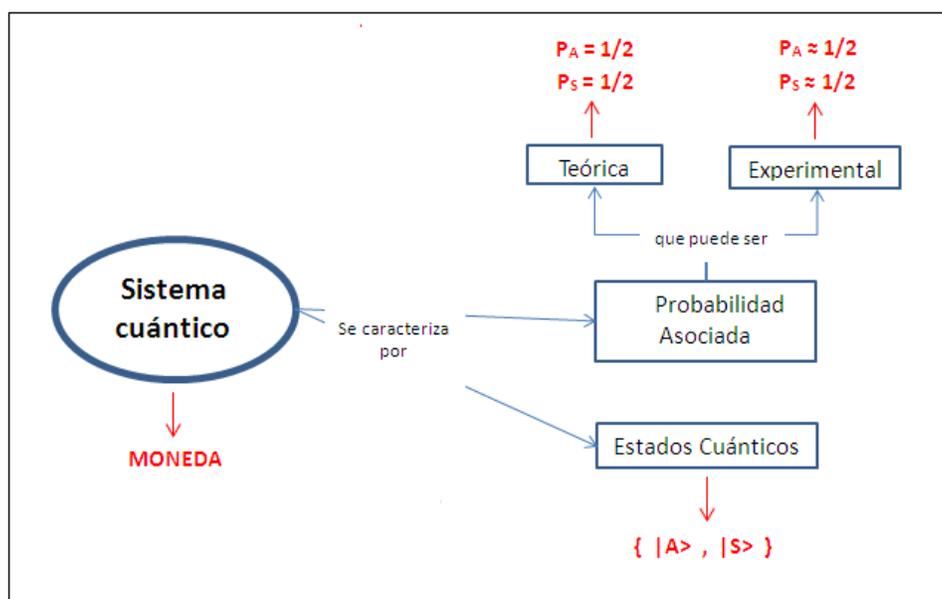


Figura 5. El profesor presenta la notación de Dirac para los estados águila y sol.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración | Tipo de trabajo práctico. Acoplado

Con en el mapa conceptual y utilizando la notación de Dirac, el profesor presenta al dado como un nuevo sistema cuántico de seis estados; identifica los estados accesibles y permite que los alumnos determinen las respectivas probabilidades teóricas asociadas a cada estado. Además, reparte a cada alumno un dado de fomi y etiquetas en blanco, y solicita que las utilicen para situar un determinado ket sobre cada una de las caras del dado, de

esta forma los alumnos practican la notación de kets. Ya que han nombrado los estados del sistema se solicita que cada equipo realice veinte experimentos (lanzamientos de dados) y con estos resultados los alumnos calculan la probabilidad experimental asociada a cada estado. En seguida se realizan otros veinte lanzamientos y se añaden estos datos para calcular nuevamente la probabilidad experimental, esta actividad permite enfatizar que el valor de la probabilidad experimental tiende al de la probabilidad teórica cuando el número de experimentos se incrementa.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor finaliza la actividad con el siguiente mapa conceptual para este nuevo ejemplo de sistema cuántico cotidiano conformado por seis estados (figura 6).

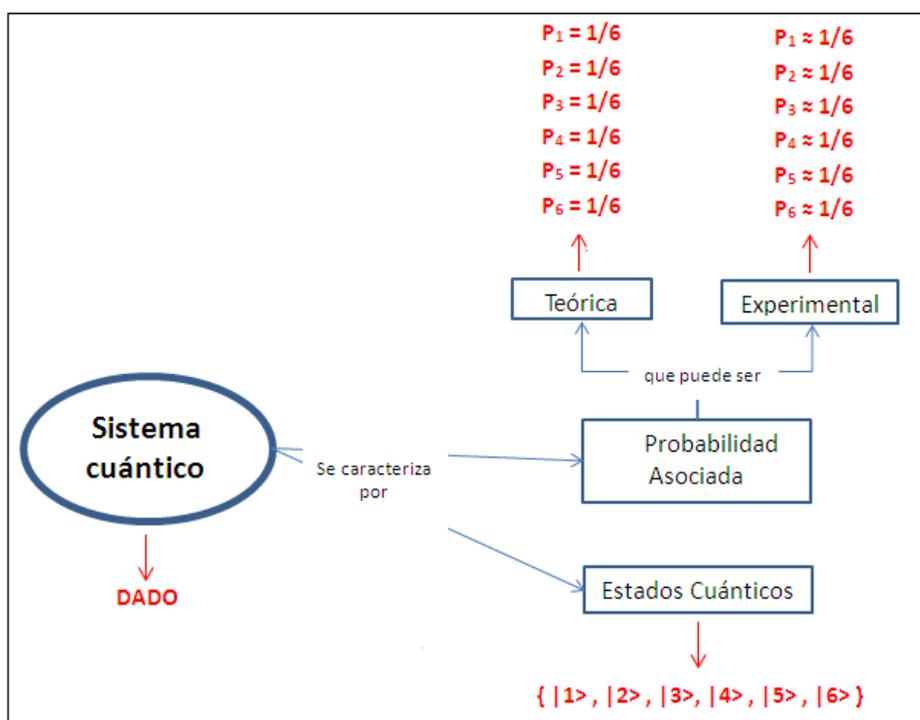


Figura 6. Mapa conceptual para el sistema cuántico dado de seis caras.

ACTIVIDAD 2. Múltiples sistemas cuánticos de seis estados

Objetivo

Identificar a los estados y las probabilidades asociadas como las características más importantes para un sistema cuántico (dado de seis caras).

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Guiado
--	---

Sin retirar los dados de fomi el profesor reparte a cada equipo varios dados de diferentes tamaños, masas y formas (cúbicos y esféricos, ver figura 7) y les pide a los equipos que analicen si estos dados son sistemas cuánticos equivalentes, realiza las siguientes preguntas: ¿En que se parecen los dados? ¿Importa que unos tengan más masa? ¿Importa que algunos tengan un volumen menor? ¿Para ser equivalentes, dos dados deben tener la misma forma? Y atiende las contribuciones de los estudiantes.



Figura 7. Dados de seis estados con diferentes tamaños y masas

Los estudiantes analizan los diferentes dados de “seis caras” (sistemas cuánticos de seis estados); realizan lanzamientos, discuten sobre posible compatibilidad entre los dichos sistemas, comparten sus ideas con el resto de los equipos y las discuten con el profesor. El análisis se da por terminado cuando los alumnos pueden argumentar que todos los dados son equivalentes porque comparten dos características fundamentales: los estados accesibles y las probabilidades asociadas a cada estado. En esta actividad es importante contar con los 5 dados esféricos para poder argumentar que, aunque la forma sea diferente, los sistemas pueden ser equivalentes.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor puntualiza que las características principales de un sistema cuántico son los estados accesibles y las probabilidades asociadas, que si se contara únicamente con la lista de resultados de algunos lanzamientos (experimentos) no podrían distinguir con cuál dado (esférico, cúbico, de menor masa o mayor masa) fueron realizados ya que todos antes los ojos de la mecánica cuántica son totalmente compatibles y son “copias” que representan el mismo sistema de seis estados. Además, hace notar a los alumnos que el mapa conceptual de la figura 6 describe adecuadamente todos los dados de seis caras (ver figura 7) independiente de su forma, tamaño o masa.

ACTIVIDAD 3. Sistemas cuánticos de la vida cotidiana

Objetivo

Identificar diferentes sistemas cuánticos cotidianos para los alumnos.

Fase 1. Introducción y presentación

Se pide a los alumnos que proporcionen ejemplos de otros sistemas cuánticos de su vida cotidiana que no tenga una forma “aburrida” como los dados. Es decir, sus propuestas tienen que ir más allá de incrementar el número de caras del dado.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

El profesor procura identificar en los sistemas cuánticos cotidianos de los estudiantes, los estados accesibles y sus respectivas probabilidades, y argumenta en función de estos elementos porque algunas de las propuestas de los alumnos no constituyen sistemas cuánticos. Dado que esta es la última actividad de la sesión puede efectuarse brevemente en cinco minutos considerando solamente algunas participaciones, los alumnos tiene la oportunidad de profundizaran en este tema al realizar la evaluación extra clase correspondiente a la segunda sesión.

Fase 3. Revisión y cierre | Tipo de trabajo práctico. Estructurado

El profesor fomenta que los alumnos compartan entre ellos nuevos ejemplos de sistemas cuánticos que están en su vida cotidiana, de esta forma los estudiantes obtienen un nivel de dominio que les permite generalizar algunos de los resultados que han aprendido. Además, presenta el sistema que analizarán en la evaluación extra clase: un dado de cuatro caras (tetraedro cuya estructura está constituida por popotes unidos con hilo), y motiva a los estudiantes a seguir pensando nuevos e interesantes ejemplos de sistemas cuánticos.

○ Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 2)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 5) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 6). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la segunda sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 5 y 6).

Tabla 5. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Realiza el mapa conceptual del sistema cuántico de dos estados (moneda).	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO12	Adecuada
		CO14	Adecuada
2. Presenta el sistema cuántico de 6 estados (dado).	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
3. Realiza el mapa conceptual del sistema cuántico de seis estados (dado).	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO12	Adecuada
		CO14	Adecuada
4. Presenta sistemas de seis estados con diferentes masas, formas y tamaños.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
5. Discute sobre las características principales de todos los sistemas (equivalentes) de seis estados.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO1	Deficiente
		CO2	Adecuada
		CO5	Excelente
6. Analiza posibles sistemas cuánticos de la vida cotidiana presentados por los estudiantes.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO1	Adecuada
		CO2	Adecuada
7. Presenta del sistema cuántico de 4 estados (tetraedro).	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO13	Excelente

Tabla 6. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Calculan de la probabilidad teórica para el sistema de seis estados.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO2	Adecuada
		CO4	Adecuada
CO13		Excelente	
CO15		Adecuada	
CO16		Excelente	
CO1		Excelente	
2. Utilizan la notación de Dirac para el sistema de seis estados.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO2	Deficiente
3. Calculan la probabilidad experimental para el sistema de seis estados.		CO5	Adecuada
4. Analizan diferentes sistemas cuánticos de seis estados.		CO10	Adecuada
5. Argumentan la equivalencia entre sistemas con los mismos estados y probabilidades asociadas.		CO1	Adecuada
6. Proponen algunos ejemplos de sistemas cuánticos de su vida cotidiana.	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO5	Adecuada

La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes se presenta en la figura 8. Durante la segunda sesión se inicia la transferencia de responsabilidad hacia los alumnos y aunque el número de procedimientos guiados por el profesor aún superan a los procedimientos realizados por los estudiantes su participación se ha incrementado con respecto a la primera sesión. Posteriormente al final de cuarta sesión se logra empatar la participación de los estudiantes y el profesor.

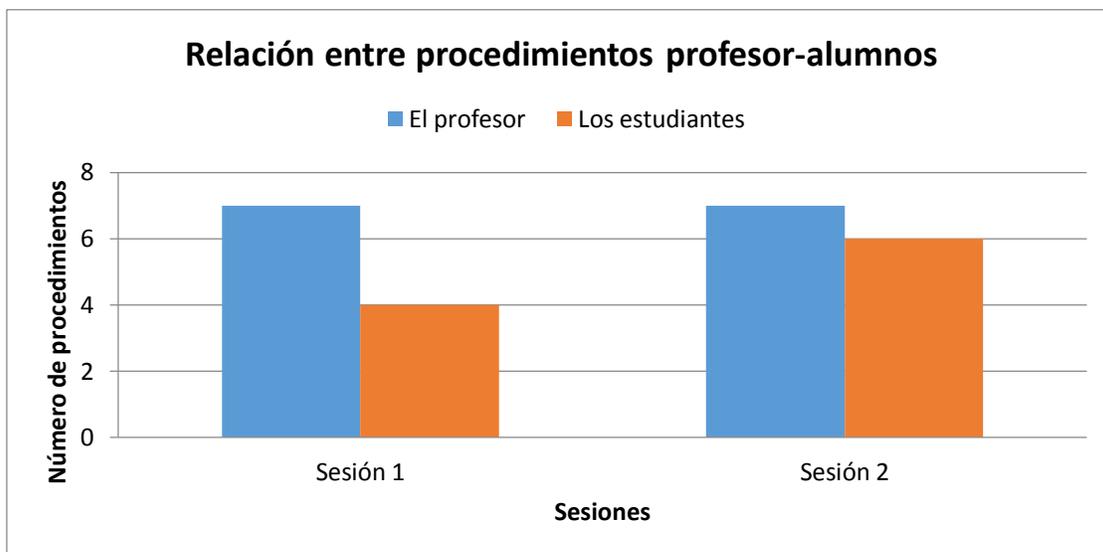


Figura 8. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 y 2.

A1.5 Tercera y cuarta sesión, vectores de estado

○ Resumen

Durante los primeros 50 minutos (tercera sesión) los estudiantes distinguen al tercer elemento fundamental de un sistema cuántico, este corresponde a la cantidad cuantizada. Y para lograr la descripción más completa de un sistema cuántico los estudiantes integran la triada: cuantos, estados y probabilidades asociadas, en el vector de estado. Además, al comparar la predicción cuántica (vector de estado teórico) con el comportamiento experimental del sistema (vector de estado experimental) los estudiantes son coparticipes de lo exitosa que resulta la mecánica cuántica para la descripción de sistemas cuánticos. En los siguientes 50 minutos (cuarta sesión) los alumnos inician el estudio de sistemas cuánticos con una distribución de probabilidad no homogénea por lo cual construyen un dado cargado, realizan una serie de experimentos y determinan su vector de estado experimental. El análisis de este sistema permite enfatizar el hecho de que en muchos sistemas cuánticos la probabilidad no es homogénea y parte del trabajo de un físico (dedicado a la mecánica cuántica) es desarrollar las herramientas y métodos que permita calcular la probabilidad (teórica) en estos sistemas.

Para finalizar la sesión utiliza un elemento concreto: gotas de agua, como la cantidad cuantizada denominada gotón. Con este elemento concreto (gotón) se establece una

analogía para desarrollar un concepto abstracto; la cantidad cuantizada denominada fotón, y de esta forma lograr la descripción cuántica de la luz. Descripción que actualmente es aceptada por la comunidad científica, y generó un rotundo cambio en la física del siglo pasado.

○ **Carta descriptiva de las sesiones 3 y 4**

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 2	Interacciones mecánicas, fuerza y movimiento.		Subtema	2.12 Más allá de Newton
Tema a desarrollar	Vectores de estado		Tiempo asignado	100 min.	Grupo	404
					Fecha	16/11/2012
					Sesión	3/8 y 4/8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
			P1	P2	P3	P4
*Construir vectores de estado para sistemas cuánticos familiares con probabilidad homogénea (moneda y dado de seis caras) y probabilidad no homogénea (dado cargado)			CO2	CO5	CO12	CO13
*Identificar a la fuente de gotones como un sistema cuántico con: probabilidades, cuantos y estados.			CO4	CO6		CO14
*Construir el vector de estado para una fuente de gotones.						CO15
*Identificar a la luz láser como un sistema cuántico con: probabilidades, cuantos y estados.						CO16
*Construir el vector de estado de un sistema cuántico formal (la luz láser)						
ORGANIZADOR DE AVANCE						
Conceptos Previos:			Conceptos a Desarrollar:			
-Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental -Notación de Dirac			-Vectores de estado -Gotones -Fotones			

MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)
<ul style="list-style-type: none"> • Dados de fomi del mismo tamaño. • Cinta de aislar. • Tira de papel higiénico. • Etiquetas.
MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)
<ul style="list-style-type: none"> • Dado de 30cm de arista con caras intercambiables. • Jeringa • Agua • Colorante rojo • Apuntador láser rojo • Polvo de gris
ACTIVIDADES DESARROLLADAS
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. Vectores de estado • Actividad 2. Sistema con probabilidad no homogénea • Actividad 3. Contador de gotones • Actividad 4. Analogía gotones-fotones
EVALUACIÓN
<p>Esta evaluación sumativa consistió en un cuestionario de cinco preguntas y fue realizada después de la cuarta sesión directamente en el blog del curso (www.grup404.blogspot.mx), ver anexo 2.</p>

● Descripción de actividades

ACTIVIDAD 1. Vectores de estado

Objetivo

Determinar los vectores de estado, teórico y experimental, para el sistema cuántico de seis estados.

Fase 1. Introducción y presentación

Con las participaciones de los estudiantes el profesor recupera el mapa conceptual sobre los sistemas cuánticos realizado durante la clase anterior. Después solicita a los equipos que presenten los ejemplos de sistemas cuánticos que propusieron en la actividad formativa (extra clase) de la segunda sesión. En cada participación los estudiantes tienen que señalar los elementos más importantes de su sistema cuántico (i.e. estados y probabilidades). Además, identifican la cantidad cuantizada en cada sistema (el cuanto de sistema), para ilustrar este concepto el profesor utiliza como ejemplo: el dado y la moneda, donde la cantidad cuantizada son las caras del uno al seis para el dado y águila y sol para la moneda. Esta información queda sintetizada en el siguiente mapa conceptual que el profesor presenta en el pizarrón.

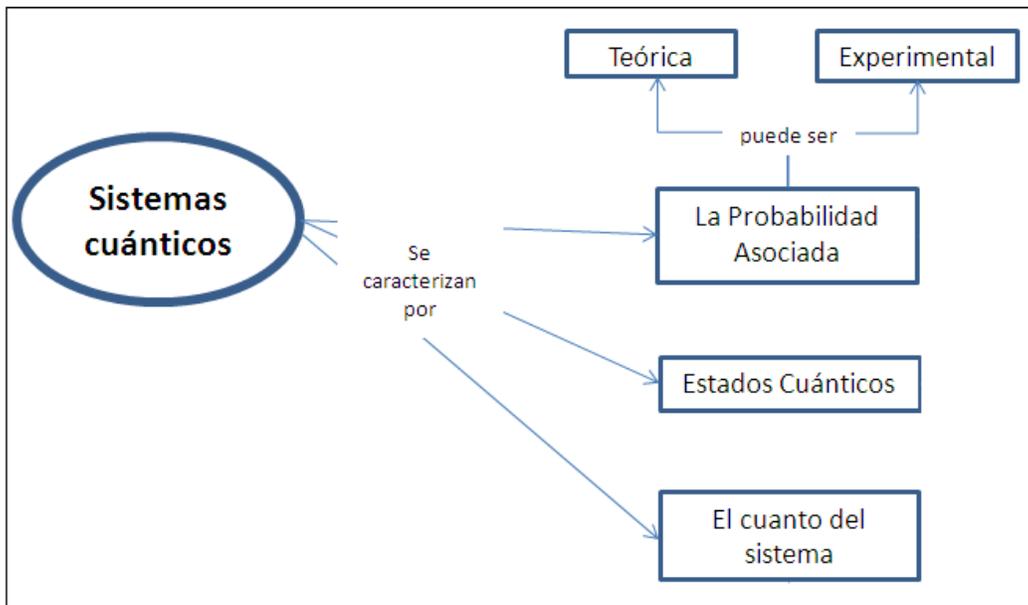


Figura 9. Mapa conceptual con los tres elementos que caracterizan un sistema cuántico: estados, probabilidad asociada y cantidad cuantizada.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración | Tipo de trabajo práctico. Acoplado

El profesor pide a cada equipo presentar varios sistemas cuánticos de dos estados (monedas). En seguida, mientras el profesor está lanzando una moneda, pregunta: ¿Cuándo la moneda esa girando en qué estado cuántico se encuentra? La discusión termina una vez

que los alumnos pueden describir la moneda utilizando una combinación lineal de los estados accesibles donde los escalares son las probabilidades teóricas, es decir construyen el vector de estado del sistema cuántico moneda. Con esta nueva información el profesor complementa el mapa conceptual de los sistemas cuánticos (ver figura 10).

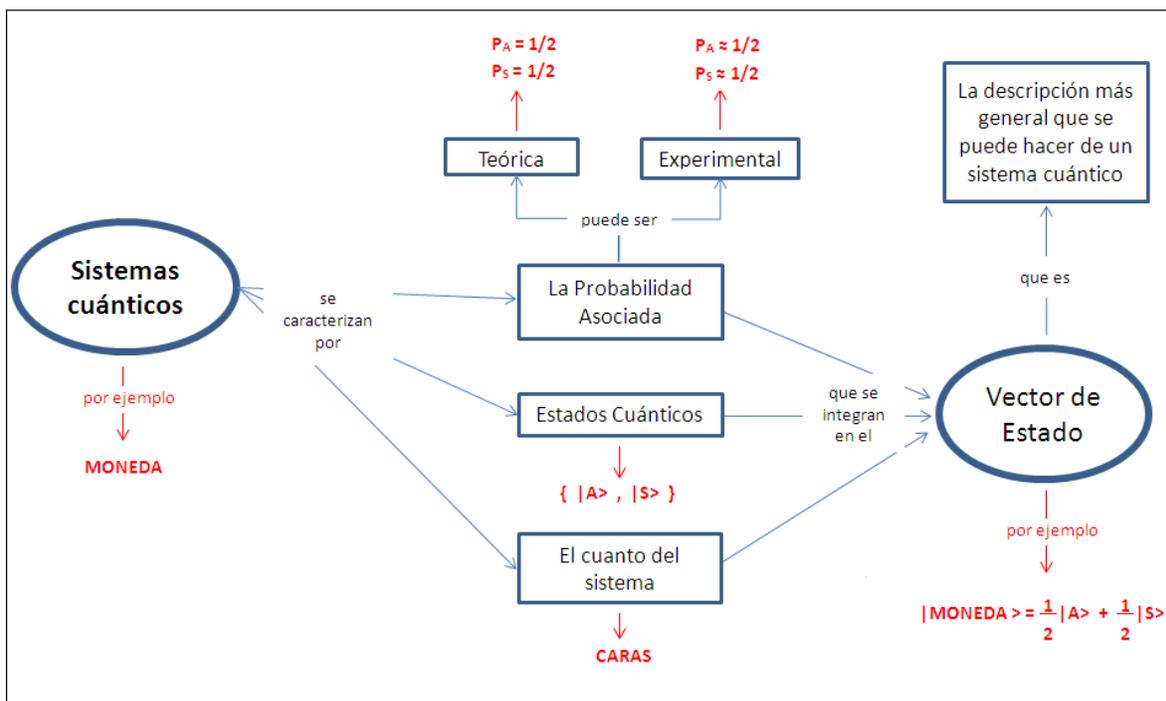


Figura 10. Mapa conceptual final para un sistema cuántico, los tres elementos que caracterizan un sistema cuántico se integran en el vector de estado.

Cada equipo realiza veinte experimentos (lanzamientos) y con los resultados de todos los equipos el profesor construye una tabla de frecuencias para determinar la probabilidad experimental asociada a cada estado. Una vez determinada la probabilidad experimental los alumnos construyen vector de estado experimental y comparan su resultado con la predicción teórica (vector de estado teórico). Análogamente los estudiantes construyen los vectores de estado (teórico y experimental) para el sistema cuántico de 6 estados utilizando los resultados de la sesión anterior, proporcionados por el profesor directamente en el pizarrón.

Fase 3. Revisión y cierre

Con la construcción del vector de estado los alumnos pueden describir totalmente a los dos sistemas cuánticos que han trabajado (moneda y dado), ya que dicho vector integra los elementos más importantes de cada sistema. Además, cuando comparan la predicción cuántica (vector de estado teórico) con el comportamiento experimental del sistema (vector de estado experimental) los alumnos son coparticipes de lo exitosa que resulta la mecánica cuántica para la descripción de sistemas cuánticos. Al comparar los resultados de ambos vectores de estado es importante que el profesor enfatice que la predicción teórica describe exitosamente al sistema cuántico moneda, pues el vector teórico predice el resultado obtenido en el vector experimental.

ACTIVIDAD 2. Sistema con probabilidad no homogénea

Objetivo

Construir un sistema cuántico de seis estados con probabilidad no homogénea (dado cargado)

Fase 1. Introducción y presentación | **Tipo de trabajo práctico. Guiado**

El profesor reparte los dados de fomi que se trabajaron en la segunda sesión y además añade dos dados (comerciales) de diferentes tamaños. En seguida le pide a cada equipo que reacomode las etiquetas de los dados de fomi para que tengan el mismo orden que los dados “comerciales”. El profesor pregunta: ¿Cómo podrían modificar al sistema para que uno de los estados sea más probable? La discusión finaliza cuando los alumnos notan que al agregar peso en alguna de las caras (estados) del dado se modifica la probabilidad asociada. Además, el profesor enfatiza que dicha convención (reacomodo) es necesaria para que todos los equipos manejen un sistema estándar ya que todos alterarán el mismo estado del sistema.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Acoplado
--	---

Una vez que cada equipo ha ordenado las etiquetas de sus dados, pega en interior de la cara correspondiente al estado seis $|6\rangle$ una moneda de diez pesos utilizando la cinta de aislar. Cada equipo realiza treinta experimentos y reporta en una tabla, que el profesor hace en el pizarrón, la frecuencia de sus resultados. Utilizando esta información se calcula la probabilidad experimental de cada estado y el vector de estado experimental para este sistema. Después el profesor guía una discusión para responder las siguientes preguntas: ¿La probabilidad de obtener un número es $1/6$? ¿Por qué cambió la probabilidad? Cuando se hace un experimento con este sistema ¿Cuál estado es más probable? ¿Qué relación existe entre el estado más probable y el peso que añadieron? ¿Este sistema es similar al dado normal (sin cargar)? La discusión termina cuando los alumnos han establecido que los sistemas del dado cargado y el dado regular son diferentes, y aunque tiene los mismos estados accesibles las probabilidades asociadas a cada estado son diferentes. EL profesor tiene que puntualizar que al colocar la carga en el estado $|6\rangle$ la probabilidad de obtener este estado después de hacer un lanzamiento disminuye ya que el dado tiende a caer sobre su cara más pesada, también debe señalar que la probabilidad de obtener el estado que se encuentra en la cara opuesta aumenta, es decir, en este caso la probabilidad de obtener el estado $|1\rangle$ se incrementa.

Fase 3. Revisión y cierre

Por último, el profesor debe procurar que los alumnos noten que para el sistema del dado cargado se puede determinar fácilmente el vector de estado experimental, pero se necesitan más herramientas teóricas para lograr construir el vector de estado teórico ya que el cálculo de la probabilidad en este caso no sería trivial. En muchos sistemas cuánticos la probabilidad no es homogénea y parte del trabajo de un físico (dedicado a la mecánica cuántica) es desarrollar las herramientas y métodos que permita calcular la probabilidad (teórica) en estos sistemas.

ACTIVIDAD 3. Contador de gotones

Objetivo

Identificar a las gotas de agua como una cantidad cuántica (gotón) y analizar una fuente de gotones.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor presenta a los alumnos una jeringa que contiene una mezcla de agua y colorante natural. Presiona el émbolo y muestra un chorro de agua, después disminuye la presión sobre el émbolo y muestra una serie de gotas. Enseguida cuestiona la naturaleza, continúa o cuántica, del líquido que sale de la jeringa. Realiza las siguientes preguntas: ¿Qué cantidad está cuantizada en el chorro de agua? ¿Qué se podría utilizar para hacer detecciones en este sistema? ¿Cuáles serían los estados de este sistema cuántico? Cuando se disminuye la presión sobre el embolo disminuye la intensidad del chorro de agua y es posible identificarlo como un sistema cuántico, donde el cuanto son las gotas (denominados por el profesor con el nombre de “gotones”) y los estados cuantizados son los estados de número $|k\rangle$ con k un número natural (a partir del cero). Además, es posible utilizar un trozo de papel (por ejemplo, papel higiénico) para detectar los gotones.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Guiado
--	---

Los alumnos extienden un papel higiénico y el profesor con un paso constante avanza paralelamente al papel procurando que las gotas de la jeringa lo impregnen. Se considera que cada mancha sobre el papel corresponde a la detección de un gotón y que cada cuadro de papel es una ventana de detección. El profesor reparte las tiras de papel con las detecciones y sobre ellas los alumnos identifican, escribiendo directamente en el papel, el ket de estado que le corresponde (ver figura 11).

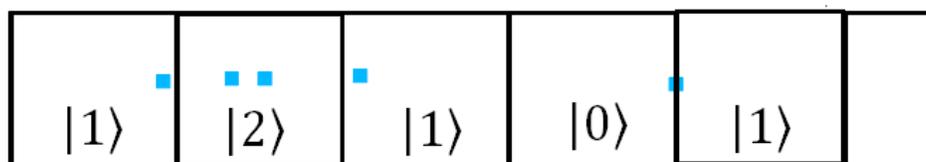


Figura 11. Los alumnos escriben el ket que le corresponde a cada ventana de detección

Una vez que han identificado los estados en las ventanas de detección, los alumnos contabilizan la frecuencia y calculan la probabilidad asociada a cada estado. Además, utilizando esta información construyen el vector de estado de la fuente de gotones (jeringa), el cual queda registrado en el pizarrón.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor enfatiza que en este sistema cuántico (fuente de gotones) se tiene una distribución de probabilidad no homogénea donde el estado más probable es el $|1\rangle$ ya que solo se tiene un orificio por donde se emiten los gotones, en cambio en caso de tener dos orificios el estado más probable sería el $|2\rangle$, por lo tanto, la información integrada en el vector estado está intrínsecamente relacionada con la fuente.

ACTIVIDAD 4. Analogía gotones-fotones

Objetivo

Establecer una analogía entre los gotones y los fotones.

Fase 1. Introducción y presentación

Tipo de trabajo práctico. Estructurado

El profesor pregunta: ¿Existe otro sistema cuántico similar a la fuente de gotones? En dicha discusión es importante respetar y analizar las propuestas de cada equipo en función de tres elementos: los estados accesibles, las probabilidades y las cantidades cuantizadas. Por último, el profesor termina la discusión con la pregunta ¿La luz láser es un sistema similar a la fuente de gotones? Con esta finalidad el profesor enciende un láser rojo y para hacer visible el haz espolvorea un poco de gis en su camino o humo de cigarro (figura 12).

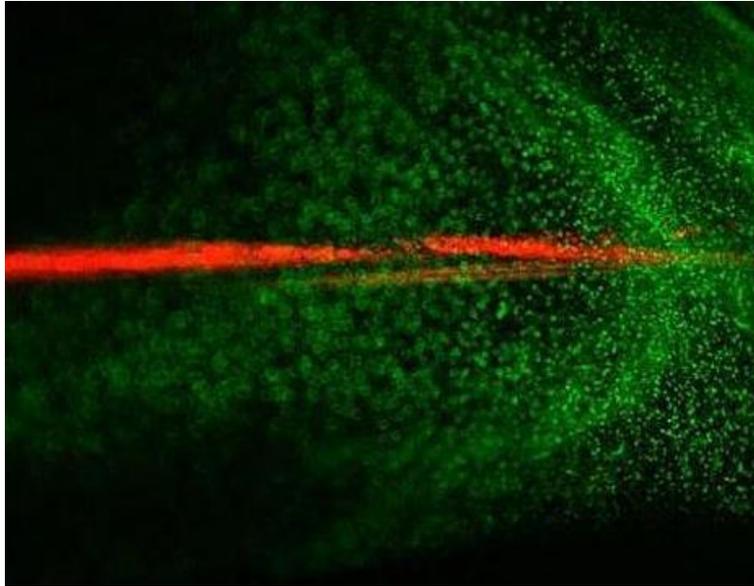


Figura 12. Dispersión de la luz de un láser en una nube de gis.

El profesor discute la naturaleza continua o cuántica del láser, les recuerda a los estudiantes el caso de la jeringa donde el chorro de agua parece continuo, pero está formado por muchos cuántos denominados gotones que pueden medirse cuando se disminuye la intensidad del chorro de agua y se utilizando un detector adecuado. De forma similar el haz del láser parece continuo, pero está formado por mucho cuántos que en este sistema se denominan fotones, además para detectarlos es necesario disminuir la intensidad del láser de lo contrario se compromete la integridad del detector. Por lo tanto, mientras la jeringa es una fuente de gotones, el láser es una fuente de fotones. Para reforzar esta analogía es importante que el color utilizado en la fuente de gotones sea similar al del láser.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

El profesor menciona que un láser tenue tendrá una distribución de probabilidad similar a la fuente de gotones que analizaron donde el estado más probable es el $|1\rangle$. En cambio, un láser muy intenso es similar a una fuente de gotones muy intensa como una nube de lluvia. Después con las contribuciones de los estudiantes el profesor aplica el mapa conceptual de los sistemas cuánticos a la fuente de gotones (ver figura 13).

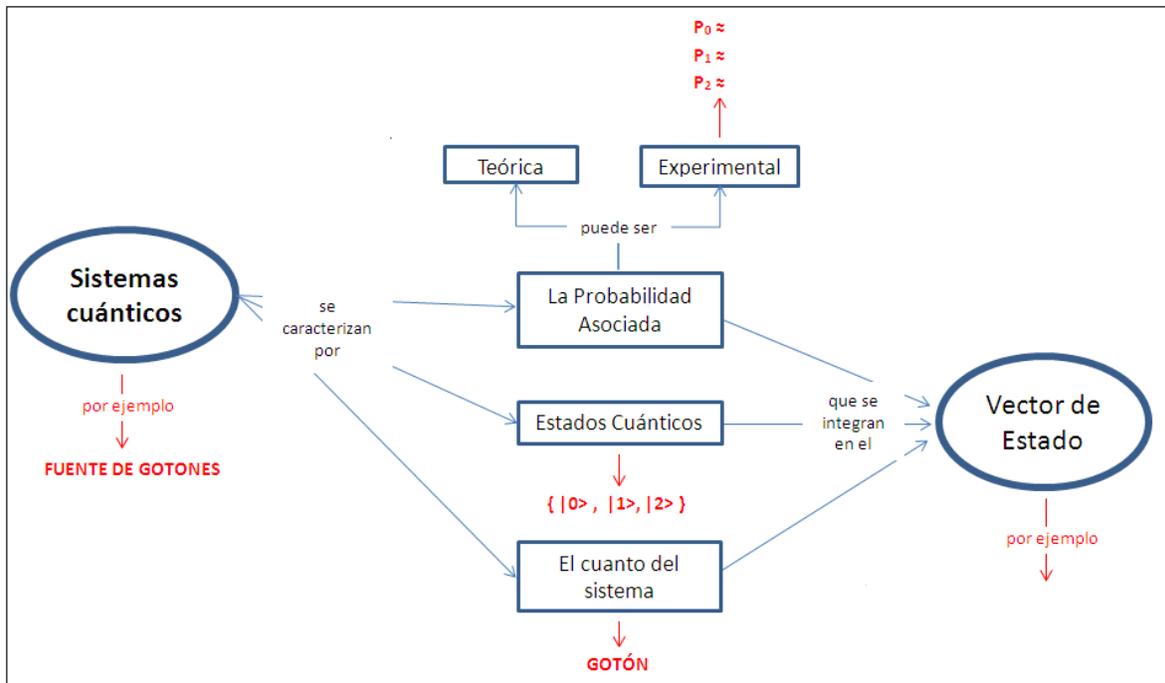


Figura 13. Mapa conceptual aplicado a la fuente de gotones (nube).

Fase 3. Revisión y cierre

Utilizando una representación concreta, como los gotones los alumnos pueden establecer una analogía entre la fuente de gotones (jeringa) y una fuente de fotones (láser). De esta forma tomando en cuenta las necesidades concretas de los alumnos es posible que comprendan conceptos abstractos como el fotón. Para finalizar la sesión el profesor aplica el mapa conceptual de los sistemas cuánticos a la fuente de fotones (láser), ver figura 14.

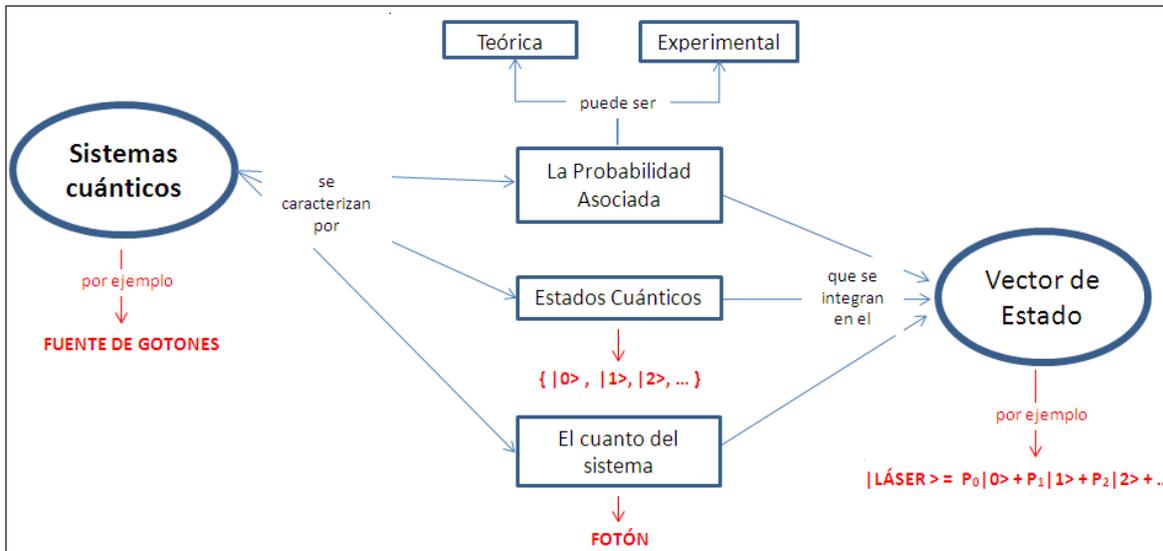


Figura 14. Mapa conceptual aplicado a la fuente de fotones (láser).

● Reflexión sobre la práctica docente (SESIONES 3 y 4)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 7) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 8). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la tercera y cuarta sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 7 y 8).

Tabla 7. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Mapa conceptual sobre los sistemas cuánticos (versión final).	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO12	Adecuada
		CO14	Adecuada
2. Discute sobre el indeterminismo cuántico.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO13	Excelente
3. Define el vector de estado de un sistema cuántico.		CO16	Adecuada
4. Discute el éxito de la mecánica en la descripción de sistemas intrínsecamente probabilísticos.	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO2	Adecuada
		CO5	Adecuada
5. Presenta el sistema cuántico: dado cargado.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO13	Excelente
6. Discute sobre las diferencias entre los sistemas cuánticos dado cargado y dado regular.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO5	Adecuada
		CO13	Adecuada
7. Reflexiona sobre la relación entre la predicción teórica y los resultados experimentales.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO6	Adecuada
		CO13	Adecuada
8. Presenta el sistema cuántico: fuente de gotones.	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO5	Excelente
		CO16	Adecuada
9. Discute la distribución de probabilidad en la fuente de gotones.	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO13	Excelente
		CO16	Adecuada
10. Presenta el sistema cuántico: luz láser.	ACTIVIDAD 4. Fase 1	CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
11. Presenta la analogía entre la luz láser y la lluvia.	ACTIVIDAD 4. Fase 2	CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
12. Realiza el mapa conceptual de la fuente de fotones.	ACTIVIDAD 4. Fase 3	CO12	Adecuada
		CO14	Adecuada

Tabla 8. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Construyen el vector de estado teórico para el sistema cuántico moneda.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO2	Adecuada
2. Realizan experimentos con el sistema cuántico de dos estados (moneda).		CO4	Adecuada
3. Construyen el vector de estado experimental para el sistema cuántico moneda.		CO13	Adecuada
4. Construyen los vectores de estado (teórico y experimental) para el sistema cuántico de seis estados (dado).		CO15	Excelente
		CO16	Adecuada
5. Usan de forma estándar la notación de Dirac para el sistema de seis estados.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
6. Construyen el sistema de seis estados con probabilidad no homogénea (dado cargado).	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO4	Excelente
7. Realizan experimentos con el sistema cuántico dado cargado.		CO13	Adecuada
		CO15	Excelente
8. Utilizan la notación de kets para los estados de una fuente de gotones.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO2	Deficiente
9. Contabilizan la frecuencia de cada estado de gotones.		CO4	Excelente
10. Calculan la probabilidad asociada a de cada estado de gotones.		CO13	Adecuada
11. Construcción del vector de estado experimental de la fuente de gotones.		CO15	Excelente
		CO16	Adecuada
12. Realizan el mapa conceptual de la fuente de gotones.	ACTIVIDAD 4. Fase 2	CO12	Adecuada
		CO14	Adecuada

Al finalizar la cuarta sesión se han igualado el número de procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes. Por lo tanto, el proceso de transferencia de responsabilidad está a punto de resultar fructífero, en el entendido de lograr un cambio hacia una clase centrada en los estudiantes.

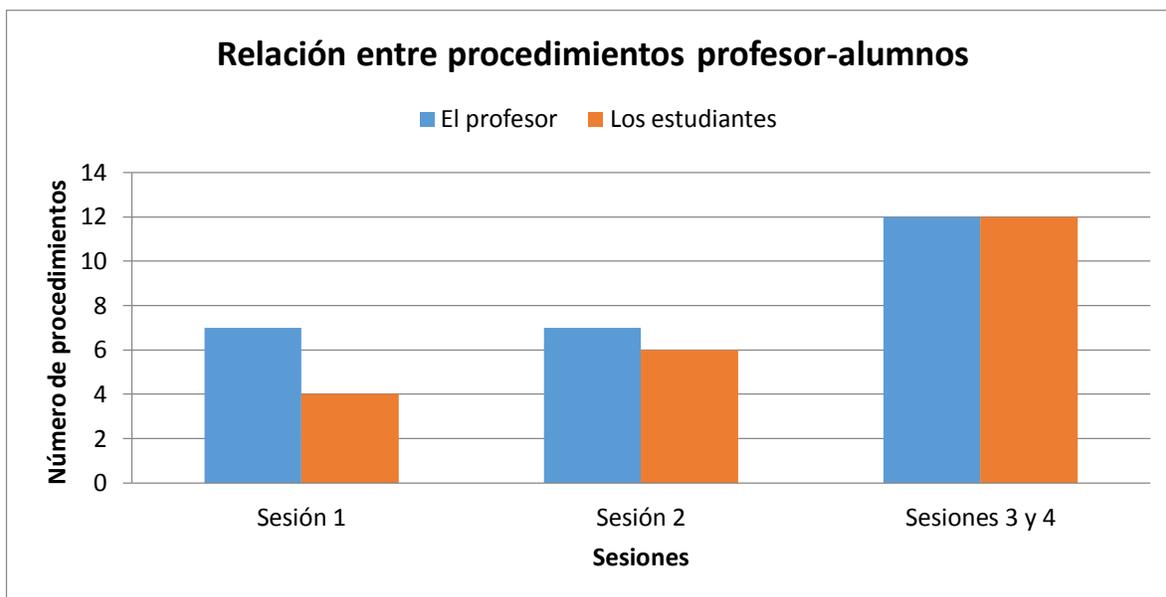


Figura 15. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 a 4.

A1.6 Quinta sesión, espectros de emisión

○ Resumen

En la quinta sesión se presenta una herramienta denominada portafolio de evidencias para potenciar el aprendizaje de los alumnos y lograr nuevos aprendizajes. Esta herramienta además permite un ejercicio explícito de los principios pedagógicos P1-P4 y los pilares resilientes PR1, PR4 y PR6, presentados en el capítulo 2.

Ya en la cuarta sesión los alumnos lograron la descripción cuántica de una fuente de luz monocromática (láser), por lo tanto, en la quinta sesión prosiguen su estudio sobre la luz, pero esta vez analizan fuentes de luz que no son monocromáticas. Para conseguir este objetivo los estudiantes desarrollan la capacidad de utilizar un instrumento cotidiano constituido por un disco compacto (rejilla de difracción por reflexión) como un espectrómetro cualitativo, además utilizan la frecuencia para describir objetivamente el color de cada espectro luminoso.

○ Carta descriptiva de la sesión 5

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 5	Estructura de la materia.	Subtema	5.5 La teoría atómica de la radiación.	
Tema a desarrollar	Espectros de emisión	Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404	
				Fecha	12/03/2013	
				Sesión	5/8	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
*Identificar que un CD es un espectrómetro cualitativo. *Determinar experimentalmente los componentes del espectro de emisión de diferentes leds. *Determinar la frecuencia en que emiten los diferentes leds.			P1	P2	P3	P4
			CO1	CO5	CO9	CO13
			CO2		CO12	CO14 CO16

ORGANIZADOR DE AVANCE	
Conceptos Previos:	Conceptos a Desarrollar:
<ul style="list-style-type: none"> -Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental -Notación de Dirac -Vectores de estado -Gotones -Fotones 	<ul style="list-style-type: none"> -Difracción por reflexión - Espectro de emisión
MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Led rojo • Led verde • Led blanco • Led naranja • Led azul • Led amarillo • Disco compacto • Crayolas de colores <p>Observación. - Es importante que la carcasa de los leds sea transparente.</p>	
MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)	
<ul style="list-style-type: none"> • Serie de leds transparentes de diferentes colores 	
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. El portafolio de evidencias • Actividad 2. Un análisis espectroscópico • Actividad 3. Relación frecuencia y color 	

EVALUACIÓN

Esta evaluación formativa fue realizada en equipos de 3 o 4 alumnos durante la sesión 4, y consistió en utilizar un CD como espectrómetro cualitativo para identificar las componentes de la luz que proviene de diferentes LEDS.

○ Descripción de actividades

ACTIVIDAD 1. El portafolio de evidencias

Objetivo

Presentar una herramienta (denominada portafolio de evidencias) diseñada para potenciar el aprendizaje de los temas hasta ahora desarrollados.

Fase 1. Introducción y presentación

El profesor pregunta a los alumnos ¿Cómo pueden resumir lo que hemos aprendido? ¿Dónde terminará el contenido que ha sido desarrollado en las sesiones? ¿Dónde guardarán la actividad de la sesión anterior? Después de escuchar y atender las contribuciones de los alumnos, el profesor reparte un sobre tamaño carta a cada equipo y explica qué uso tendrá cada sección: portada, lengüita, contraportada e interior, para establecer el portafolio de evidencias (ver apartado correspondiente al portafolio de evidencias en el capítulo 2).

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

En la contraportada del sobre cada equipo recupera su interpretación del mapa conceptual final de la sesión 3 (ver figura 16), así como los resultados que consideren más relevantes de cada una de las sesiones.

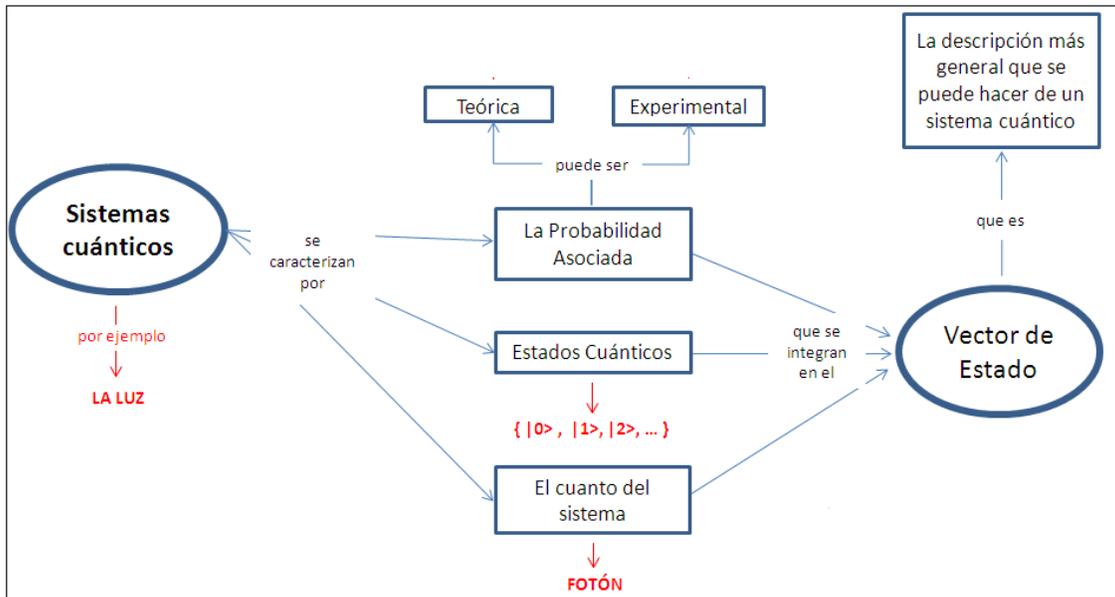


Figura 16. Mapa conceptual de los sistemas cuánticos presentado en la cuarta sesión.

Además, dado que se trata de un sobre, instrumentos útiles como el CD y documentos importantes como la evaluación formativa de la sesión anterior quedan salvaguardados en su interior. Por último, en la lengüeta los estudiantes incluyen el nombre con el que prefieren ser llamados, así el profesor puede dirigirse a ellos de forma personal.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor invita a los alumnos a trabajar en la portada del sobre y para la siguiente sesión deben incluir algunas imágenes, dibujos o recortes que les resulten interesantes. Cuando los alumnos personalizan con algunos elementos significativos el sobre, este se convierte en un objeto afín para ellos y exhiben una significativa tendencia a preservarlo, es decir no lo arrugan, no lo pierden y lo conservan. De esta forma al preservar los elementos de la portada, implícitamente los alumnos preservan también los resultados de las sesiones en la contraportada, y en su interior conservan instrumentos y las evaluaciones presenciales.

ACTIVIDAD 2. Un análisis espectroscópico

Objetivo

Identificar los colores que conforman el espectro de emisión de los leds: blanco, rojo, azul, verde, amarillo y naranja. Además, identificar el color principal que emite cada led.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor expone brevemente los cuatro fenómenos luminosos principales: difracción, refracción, reflexión e interferencia. A su vez, presenta brevemente el funcionamiento de una rejilla de difracción por reflexión de buena calidad y bajo costo que encontramos en los hogares de todos: un disco compacto (CD). Ya que sus grecas microscópicas permiten difractar longitudes de onda que están dentro del espectro visible (Hecht, 2000). Y frente al grupo muestra cómo utilizar el analizador de luz (disco CD) haciendo incidir la luz del led en una dirección casi perpendicular a la superficie del disco, además establece medidas de seguridad cómo no apuntar ninguno de los leds directamente a los ojos. En seguida proporciona a cada equipo un CD, cuatro leds de diferentes colores y crayolas.

El profesor guía una discusión para determinar las condiciones necesarias para que el disco difracte únicamente la luz del led, hace preguntas como: ¿Nuestro análisis se ve contaminado por las luces del salón? ¿Basta con apagar las luces para garantizar que los colores que observamos provienen únicamente del led? ¿Se necesita mayor penumbra? ¿Qué podríamos hacer para bloquear la mayor cantidad de luz que proviene del exterior?

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Acoplado
--	---

La anterior discusión cierra cuando los equipos se reacomodan y utilizan sus cuerpos, suéteres, y mochilas para construir un domo que aísla la luz exterior y les permite analizar la luz de cada led. Cada equipo coloca uno de los leds frente a la rejilla de difracción (CD) y observa las contribuciones de los diferentes colores que son emitidos (ver figura 17). Este procedimiento se repite para cada uno de los leds.



Figura 17. Análisis de la luz emitida por el led blanco.

El profesor reparte una hoja con siguiente tabla (evaluación formativa), los equipos llenan las primeras tres columnas con los colores observados, y en una segunda observación identifican el color principal que emite cada led (ver tabla 9).

Tabla 9. Colores observados y color principal de cada led.

LED	Colores Observados	Color Principal	
Blanco	rojo, naranja, amarillo, verde, azul, morado	no tiene	
Rojo	rojo, naranja	Rojo	
Azul	azul, verde	Azul	
Verde	verde, amarillo, rojo	Verde	
Naranja	naranja, amarillo, rojo	Naranja	
Amarillo	amarillo, naranja, rojo	Amarillo	

Después de identificar el color principal de cada led, el profesor guía una discusión para definir que determina el color que emite cada led, haciendo preguntas como: ¿Las baterías de terminan el color que emite cada led? ¿La carcasa determina el color? ¿Cuál es la diferencia entre la luz azul de un led y la luz azul que proviene de un foco rojo (incandescente)? La discusión cierra cuando los alumnos establecen que el color de la luz

que emite un led depende del material que se encuentra en su interior, cabe señalar que esta conclusión es posible únicamente si la carcasa de los leds es transparente de lo contrario los alumnos suelen asociar el color emitido con el color de la superficie de la carcasa como en un foco común.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor debe puntualizar que los leds son diferentes de los focos comunes (incandescentes), ya que un led azul por ejemplo, emite intrínsecamente luz azul mientras que cuando un cuando foco común emite luz azul se debe a que su superficie se ha pintado de dicho color. Cada led emite en un color principal, a excepción del led de luz blanca, la luz emitida por cada led depende del material que está en el interior del led y no del color de la carcasa.

ACTIVIDAD 3. Relación frecuencia y color

Objetivo

Establecer la relación entre la frecuencia y el color de la luz, además identificar la frecuencia principal en que emiten los leds: blanco, rojo, azul, verde, amarillo y naranja.

Fase 1. Introducción y presentación

El profesor guía una discusión para definir cómo se pueden distinguir objetivamente dos colores luz. Escucha las contribuciones de los alumnos y después presenta la frecuencia como una medida objetiva que permite distinguir los colores de la luz, además en el pizarrón escribe la frecuencia que le corresponde al color principal de cada led (excepto el blanco) y las unidades en que se mide.

Fase 2. Supervisión de la compresión e integración

Cada equipo titula “frecuencia” e incluyen las unidades correspondientes en la cuarta columna de la tabla 10. Y en esta columna los alumnos escriben la frecuencia principal de cada led.

Tabla 10. Frecuencia colores observado y color principal de cada led.

LED	Colores Observados	Color Principal	Frecuencia [10^{12} Hz]
Blanco	rojo, naranja, amarillo, verde, azul, morado	no tiene	<i>Todas</i>
Rojo	rojo, naranja	Rojo	453
Azul	azul, verde	Azul	645
Verde	verde, amarillo, rojo	Verde	556
Naranja	naranja, amarillo, rojo	Naranja	490
Amarillo	amarillo, naranja, rojo	Amarillo	517

Al terminar esta actividad los alumnos integran los conceptos más relevantes de la sesión en la contraportada del sobre, y en el interior del sobre resguardan la evaluación formativa junto con el analizador espectral cualitativo (CD).

Fase 3. Revisión y cierre

La frecuencia permite identificar de forma objetiva el color de la luz, y en el espectro visible sus unidades son del orden de 10^{12} Hertz (Hz). Para finalizar el profesor guía una discusión para definir la frecuencia de la luz blanca, hace preguntas como: ¿Qué podrían hacer para que un led emita en blanco? ¿De qué colores está conformada a luz blanca? Esta discusión cierra cuando los alumnos establecen que la luz blanca está compuesta por todos los colores y por lo tanto tienen todas las frecuencias, además se debe enfatizar que para obtener un led blanco podrían combinarse todos los materiales que están dentro de los demás leds.

● Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 5)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 11) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 12). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la quinta sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 11 y 12).

Tabla 11. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Integran en la contraportada del sobre los resultados más relevantes de las sesiones pasadas.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO12	Excelente
2. Expresan su nombre predilecto.		CO13	Adecuada
		CO14	Adecuada
3. Diseña y construye un domo para bloquear la luz ambiental.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO1	Excelente
4. Analizan la luz emitida por diferentes leds.		CO2	Excelente
5. Identifican el color principal que emite cada led.		CO5	Adecuada
6. Comienzan a relacionar la frecuencia y el color principal emitido por cada led.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
7. Integran los conceptos más importantes de la sesión en la contraportada del sobre.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO12	Excelente

Tabla 12. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Presenta el portafolio de evidencias.	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO12	Adecuada
2. El profesor invita a los estudiantes a trabajar la portada del sobre para convertirlo en un elemento afín.	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO9	Adecuada
		CO12	Adecuada
3. Presenta los fenómenos luminosos: difracción, refracción, reflexión e interferencia.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
4. Expone el funcionamiento de un CD como una rejilla de difracción y las medidas de seguridad para utilizarlo.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO13	Deficiente
5. Discute acerca de qué condiciones son necesarias para analizar la luz con un CD.		CO16	Adecuada
6. Discute acerca de la relación entre la luz emitida y el material de cada led.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO5	Adecuada
		CO13	Excelente
		CO16	Excelente
7. Discute las diferencias entre un led y un foco incandescente tradicional.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO13	Adecuada
8. Discute acerca del vínculo entre la luz y la frecuencia.	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO5	Adecuada
		CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
9. Discute acerca de la frecuencia de la luz blanca.	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO5	Adecuada

Entre la cuarta y la quinta sesión se tiene un intervalo temporal de casi cuatro meses, debido a esta separación se vuelve a plantear el proceso de transferencia de responsabilidad con condiciones donde el profesor tiene un papel central, sin embargo, no se regresa a las condiciones de las primeras dos sesiones ya que los estudiantes tienen una mayor participación y el número de procedimientos realizados se ha incrementado.

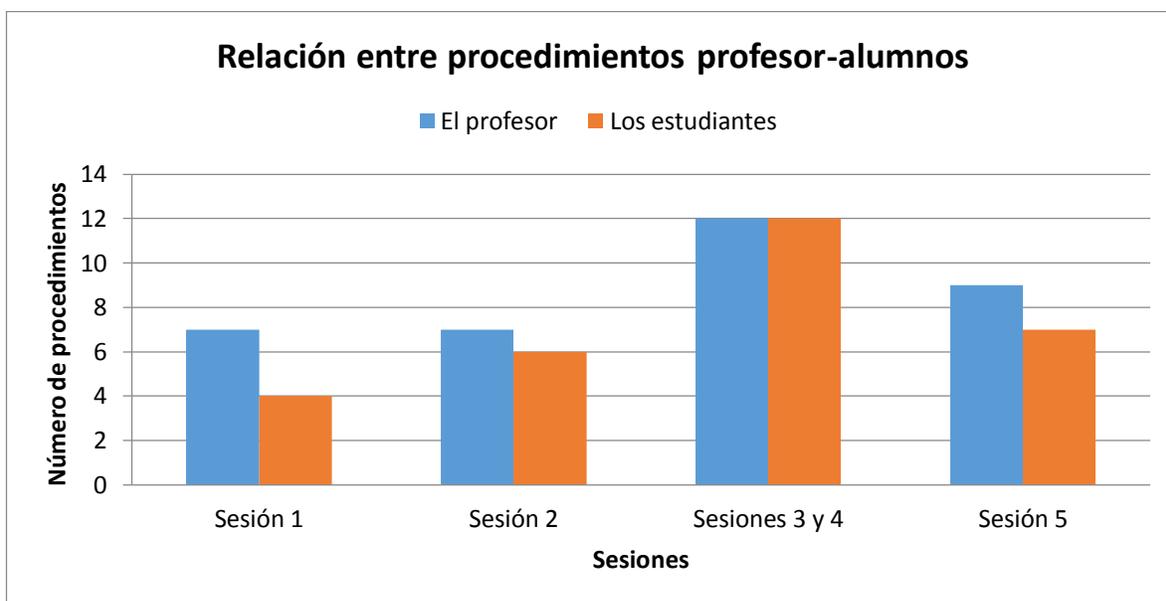


Figura 18. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 a 5.

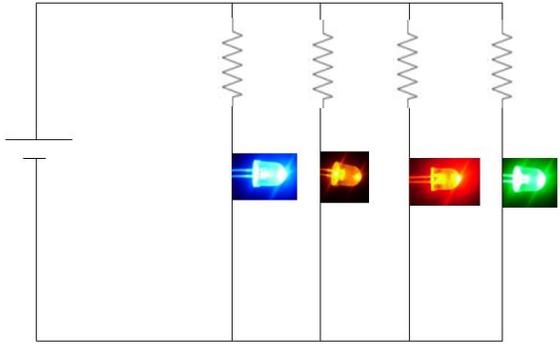
A1.7 Sexta sesión, frecuencia y energía de un fotón

○ Resumen

Una vez que los estudiantes logran la descripción de la luz como un fenómeno cuántico utilizando fotones (sesión 4) y además están capacitados para analizar el espectro de diferentes fuentes de luz utilizando un espectrómetro cualitativo (sesión 5), en la sexta sesión se tiene como objetivo establecer la relación entre el color, la energía y la frecuencia de los fotones. En primera instancia se define el concepto de frecuencia con sus respectivas unidades de medida, una vez definido dicho concepto se utiliza una analogía entre la frecuencia de una onda mecánica y la frecuencia de una onda electromagnética para establecer una relación de proporcionalidad entre la energía y la frecuencia de cada fotón. Esta relación que en principio surge de la reflexión, al final de la sesión es corroborada experimentalmente con un dispositivo construido con elementos simples que el alumno ya conoce.

○ Carta descriptiva de la sesión 6

DATOS GENERALES							
Asignatura	Física III	Unidad 5	Estructura de la materia.	Subtema	5.5 La teoría atómica de la radiación.		
Tema a desarrollar	Frecuencia y energía de un fotón			Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404
						Fecha	13/03/2013
						Sesión	6/8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN							
Disciplinarios				Pedagógicos – Resilientes			
*Establecer una relación de proporcionalidad directa entre la frecuencia de la luz y la energía de sus fotones.				P1	P2	P3	P4
				CO2	CO5	CO9	CO16
				CO4		CO12	CO15
							CO14
							CO13

ORGANIZADOR DE AVANCE	
Conceptos Previos:	Conceptos a Desarrollar:
<ul style="list-style-type: none"> -Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental -Notación de Dirac -Vectores de estado -Gotones -Fotones 	<ul style="list-style-type: none"> -Difracción por reflexión -Espectro de emisión <ul style="list-style-type: none"> -Energía de un fotón
MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Agujeras de zapato • Cronómetros 	
MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)	
<ul style="list-style-type: none"> • Circuito de leds en paralelo • Fuente de voltaje directo (0.5v-5v) • 4 resistencias de 1KΩ • Cuerda con una longitud de 3 metros 	
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. La frecuencia de la luz visible • Actividad 2. Relación energía y frecuencia • Actividad 3. La energía de los fotones 	
EVALUACIÓN	
<p>Esta evaluación sumativa consistió en un cuestionario de cuatro preguntas (ver anexo 2) y fue respondido después de la sexta sesión en el blog del curso (www.grup404.blogspot.mx).</p>	

○ Descripción de actividades

ACTIVIDAD 1. La frecuencia de la luz visible

Objetivo

Identificar la frecuencia de la luz en el espectro visible y sus unidades de medida.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor toma una cuerda de 3 metros de largo la amarra al escritorio y les presenta a los alumnos una serie de oscilaciones con diferentes frecuencias. Utilizando el ejemplo de la cuerda define el concepto de frecuencia como: el número de ciclos en un segundo, y su unidad de medida: Hertz.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Abierto
--	--

En seguida solicita que cada equipo proponga un medio para realizar oscilaciones. Utilizando dicho medio, los estudiantes mide el número de oscilaciones que puede efectuar en 20 segundos y calcula la frecuencia. Es importante que el profesor no proporcione un trozo de cuerda y en cambio brinde la oportunidad para que los alumnos propongan algunos medios, por ejemplo: audífonos, agujetas de zapato, ya que la finalidad de esta actividad es que el alumno vincule el concepto físico de frecuencia con una representación “encarnada” (Pozo, 2002) es decir concreta y cercana a él. Esta actividad puede realizarse en aproximadamente 10 minutos, y mientras el profesor supervisa el trabajo de los equipos los invita presentar la portada de su sobre.

El profesor pregunta a sus estudiantes ¿Cuál es la máxima frecuencia que lograron? ¿Creen que podría lograr una frecuencia de 100Hz? ¿Conocen algún fenómeno que tenga una frecuencia mucho mayor, por ejemplo, del orden de 10^{12} Hz? Con las contribuciones y los resultados de la evaluación formativa de la sesión anterior el profesor guía la discusión para concluir que la onda electromagnética (luz) que se encuentra en el espectro visible es del orden de 10^{12} Hz.

Fase 3. Revisión y cierre

Para finalizar la actividad el profesor define el prefijo “Tera” y lo relaciona con la potencia de 10^{12} , es decir: $1\text{THz} = 10^{12}\text{ Hz}$. Para concientizar a sus alumnos sobre que tan grande es la magnitud de 1 Tera (10^{12}) con respecto a la unidad de 1 Kilo (10^3) que resulta más familiar para los estudiantes, el profesor calcula cuántos archivos de “Word” (que son de orden KB) se pueden guardar en el disco duro de 1TB de una computadora actual. El resultado que se obtiene es del orden de mil millones de archivos ($10^9 = 1,000,000,000$)

Actividad 2. Relación energía y frecuencia

Objetivo

Establecer una relación de proporcionalidad directa entre la frecuencia y la energía.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor utiliza la cuerda de tres metros para realizar oscilaciones con baja frecuencia durante un intervalo de 30 segundos y presenta el cálculo de la frecuencia directamente en el pizarrón. Después, durante el mismo intervalo de tiempo, realiza una perturbación con la máxima frecuencia que le sea posible. Al término del último intervalo el profesor enfatiza el cansancio que le produjo realizar esta actividad.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Acoplado
--	---

Enseguida solicita a los equipos de estudiantes que repitan en tres ocasiones el procedimiento que acaban de observar y que procuren aumentar la frecuencia lo más que puedan. El profesor le pide a cada equipo que exprese la máxima frecuencia de alcanzó, además realiza preguntas como: ¿Cuándo se cansaron más al realizar una frecuencia baja o alta? ¿Qué necesitan invertir para incrementar la frecuencia? ¿En qué caso necesitaron más energía? Una vez que los estudiantes han relacionado el cansancio con la pérdida de energía, el profesor define brevemente las relaciones de proporcionalidad directa y

proporcionalidad inversa, y pide a los estudiantes que argumenten que relación existe entre la frecuencia de una onda y la energía.

Fase 3. Revisión y cierre

Utilizando un medio como un trozo de cuerda los alumnos pueden establecer una analogía que los conduce a una relación de proporcionalidad directa entre la energía (E) y la frecuencia (ν) de una oscilación. Y para obtener una igualdad el profesor añade una constante de proporcionalidad, que en este caso denomina h, así la ecuación anterior queda como:

$$E \propto \nu \rightarrow E = h\nu$$

El profesor discute la importancia de esta relación energía -frecuencia, ya que es una expresión de la dualidad onda-partícula. La energía de cada cuanto (partícula) de luz denominada fotón (estudiado durante la cuarta sesión) depende de la frecuencia que es una propiedad que caracteriza una onda. Por último, invita a los estudiantes a integrar esta relación en la contraportada de su sobre.

ACTIVIDAD 3. La energía de los fotones

Objetivo

Determinar la relación entre la energía de los fotones y su frecuencia.

Fase 1. Introducción y presentación

Tipo de trabajo práctico. Estructurado

El profesor presenta el siguiente dispositivo experimental el cual consta de 4 leds fácilmente intercambiables (ver figura 18) que emiten colores: azul, rojo, amarillo y verde, conectados en paralelo a una fuente de voltaje variable (para una descripción más detallada ver anexo 5). Utiliza la fuente de voltaje al máximo (5v) y el profesor muestra que todos los leds permanecen encendidos incluso cuando se retira uno o dos ya que en una conexión en

paralelo cada led está conectado de forma independiente a la fuente de voltaje. También intercambia de lugar algunos leds para mostrar que su brillo no cambia ya que sin importar el lugar que ocupen están conectados a la misma diferencia de potencial.

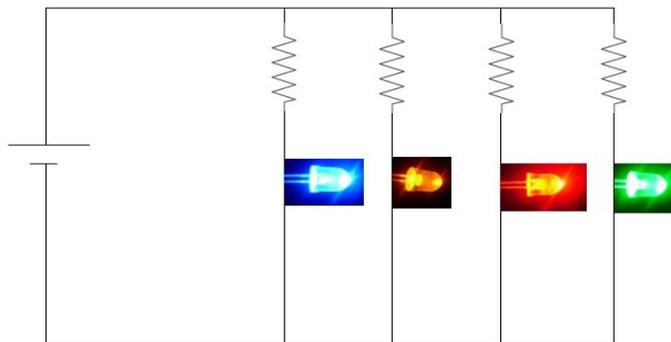


Figura 18. Diagrama experimental del circuito de cuatro leds conectados en paralelo.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Guiado
--	---

El profesor solicita los estudiantes recuperar del interior de sus sobre la evaluación formativa y con las contribuciones de los alumnos escribe en el pizarrón el color principal y la frecuencia de cada led. Y recordándoles el vínculo entre la frecuencia y la energía, pide a los equipos que argumenten en qué orden se deben ir apagando los leds al disminuir la diferencia de potencial (energía por unidad de carga) suministrada al circuito. Con las participaciones de los equipos realiza la siguiente tabla en el pizarrón (tabla 13).

Tabla 13. Apagado de los leds

Orden de apagado	Led	Frecuencia [THz]
1°	Azul	645
2°	Verde	556
3°	Amarillo	517
4°	Rojo	453

Lentamente el profesor disminuye el voltaje y se anota en el pizarrón el orden en el cual se apagan los leds. Dicho experimento se repite cuatro veces intercambiando los sitios donde

se colocan los leds y cada experimento se registra en el pizarrón. De esta forma confirma la predicción de sus estudiantes.

Fase 3. Revisión y cierre

El profesor enfatiza que los leds están conectados en paralelo, y la única diferencia sustancial entre los leds es la luz que emiten. Por lo tanto, se concluye que la energía necesaria para producir luz azul es mayor que la energía que se necesita para producir luz roja. Y así se obtiene que el orden de apagado coincide con la frecuencia, es decir, entre mayor es la frecuencia se necesita más energía para producir esta luz. Por lo tanto, un fotón de luz azul es mucho más energético que un fotón de luz roja. Para finalizar la sesión cada equipo integra los conceptos que considere más relevantes en la contraportada del sobre (portafolio de evidencias).

Cabe señalar que la constante de proporcionalidad $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js (Sakuray, 1994) puede determinar explícitamente utilizando el arreglo experimental antes presentado, basta utilizar un multímetro para medir los valores de intensidad (I) contra voltaje (v) en cada led (ver anexo 5).

● Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 6)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 14) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 15). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la sexta sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra

satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 14 y 15).

Tabla 14. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Establece una analogía entre la oscilación de un medio elástico y la oscilación de una onda electromagnética.	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO5	Excelente
2. Define el concepto de frecuencia de una onda.		CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
3. Discute la frecuencia de la luz en el espectro visible.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO13	Adecuada
	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO16	Adecuada
4. Utiliza un medio elástico para presentar una analogía entre la frecuencia y la energía.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO5	Adecuada
		CO13	Excelente
5. Define los conceptos de proporcionalidad directa e inversa.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO5	Adecuada
		CO13	Adecuada
6. Discute la dualidad onda-partícula.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO13	Adecuada
		CO16	Deficiente
7. Presenta un dispositivo experimental de cuatro leds conectados en paralelo.	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO4	Excelente
		CO13	Adecuada
8. Utiliza el dispositivo experimental para mostrar que la energía de los fotones está relacionada con su frecuencia.	ACTIVIDAD 3. Fase 2 ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO9	Deficiente
		CO15	Excelente

Tabla 15. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Proponen un medio elástico para realizar oscilaciones.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO2	Deficiente
2. Calculan la frecuencia de oscilación de un medio elástico.		CO4	Adecuada
3. Presentan la portada de su sobre (portafolio de evidencias).		CO13	Adecuada
4. Determinan la máxima frecuencia de oscilación que pueden alcanzar en su medio elástico.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO15	Adecuada
5. Argumentan la relación de proporcionalidad entre la energía y la frecuencia.		CO4	Adecuada
6. Integran los conceptos más importantes de la clase en la contraportada del sobre.	ACTIVIDAD 2. Fase 3 ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO13	Excelente
		CO12	Excelente
		CO14	Adecuada
7. Predicen el orden de apagado de los leds.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO16	Adecuada
		CO4	Adecuada
		CO13	Adecuada
		CO15	Excelente

En la sexta sesión el número de procedimientos realizados por los estudiantes es superado ligeramente por el número de procedimientos guiados por el profesor, entonces, aunque el centro de la clase permanece más cercano al profesor la participación de los estudiantes se ha incrementado.

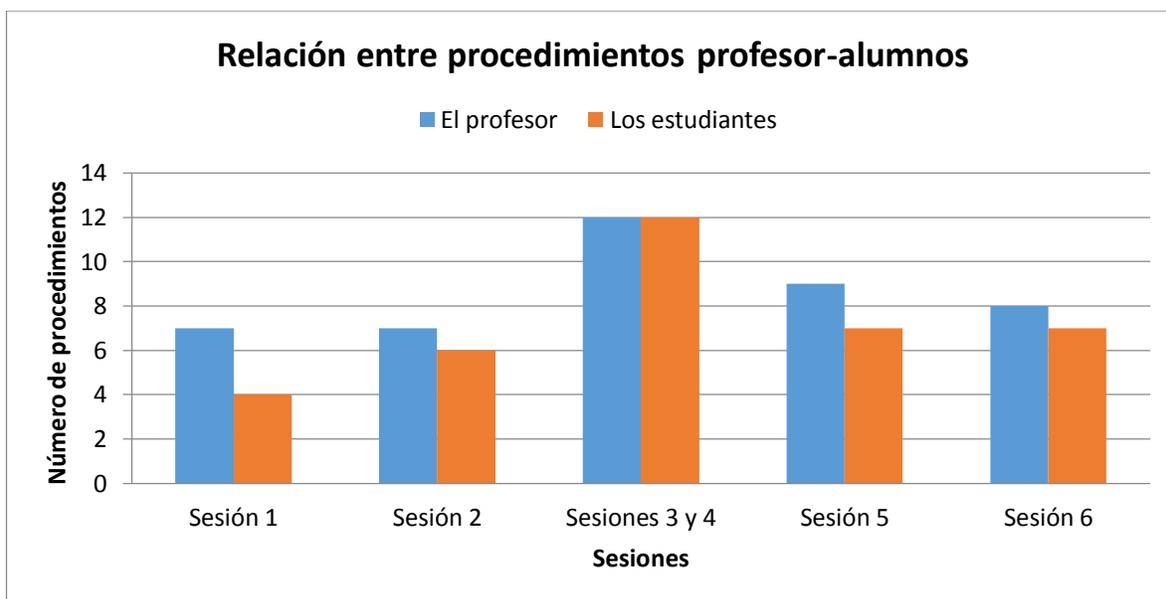


Figura 19. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 a 6.

A1.8 Séptima sesión, modelo atómico de dos niveles

○ Resumen

Los alumnos han analizado diferentes fuentes de luz monocromática y no monocromática (sesiones 4 y 5), además son capaces de identificar la relación entre la frecuencia, el color y la energía de cada fotón (sesión 6). Sin embargo, el mecanismo mediante el cual se producen los fotones aún les es desconocido, es así que esta sesión en lugar de analizar la luz que proviene de una fuente se pasa a examinar el interior de la fuente y se propone el modelo del átomo de dos niveles para explicar cómo al realizar una transición electrónica entre el estado base y excitado se logra la emisión de un fotón cuya energía corresponde a la diferencia entre ambos estados energéticos.

Además, se generaliza el concepto de probabilidad y por primera vez se presenta un sistema cuántico cuya probabilidad es una función temporal, esta generalización concuerda con la descripción propuesta por Schrödinger donde la dependencia temporal se incluye en la probabilidad y no en los estados.

○ Carta descriptiva de la sesión 7

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 5	Estructura de la materia.	Subtema	5.6 Modelos atómicos	
Tema a desarrollar	Modelo atómico de dos niveles		Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404
					Fecha	19/03/2013
					Sesión	7/8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
*Construir el modelo del átomo de dos niveles, considerando diferentes fuentes de emisión monocromáticas.			P1	P2	P3	P4
			CO2	CO5	CO10	CO13
			CO3	CO6	CO12	CO14
			CO4			CO15
						CO16
ORGANIZADOR DE AVANCE						
Conceptos Previos:			Conceptos a Desarrollar:			
-Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental -Notación de Dirac -Vectores de estado -Gotones -Fotones			-Difracción por reflexión -Espectro de emisión -Energía de un fotón -Modelo atómico de dos niveles			
MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)						
<ul style="list-style-type: none"> • Paleta con <i>light stick</i> verde • Paleta con <i>light stick</i> amarillo • Paleta con <i>light stick</i> rojo • Paleta con <i>light stick</i> azul • Disco compacto 						
						
						

MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Light stick</i> verde • <i>Light stick</i> amarillo • <i>Light stick</i> rojo • <i>Light stick</i> azul • Cinta adhesiva 	
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. Sistema cuántico de dos estados (<i>light stick</i>) • Actividad 2. El átomo de dos niveles • Actividad 3. Probabilidad dependiente del tiempo 	
EVALUACIÓN	
<p>Esta evaluación formativa consistió en un cuestionario de dos preguntas (ver anexo 2) y fue respondido durante la sesión.</p>	

● Descripción de actividades

Actividad 1. Sistema cuántico de dos estados (*light stick*)

Objetivo

Identificar los tres elementos que caracterizan la descripción de una vara luminosa (*light stick*) como un sistema cuántico. Y relacionar la energía de los fotones emitidos por *light sticks* de diferentes colores.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor les pide a los alumnos que utilicen su sobre y con sus participaciones recupera el mapa conceptual final de la cuarta sesión (figura 20).

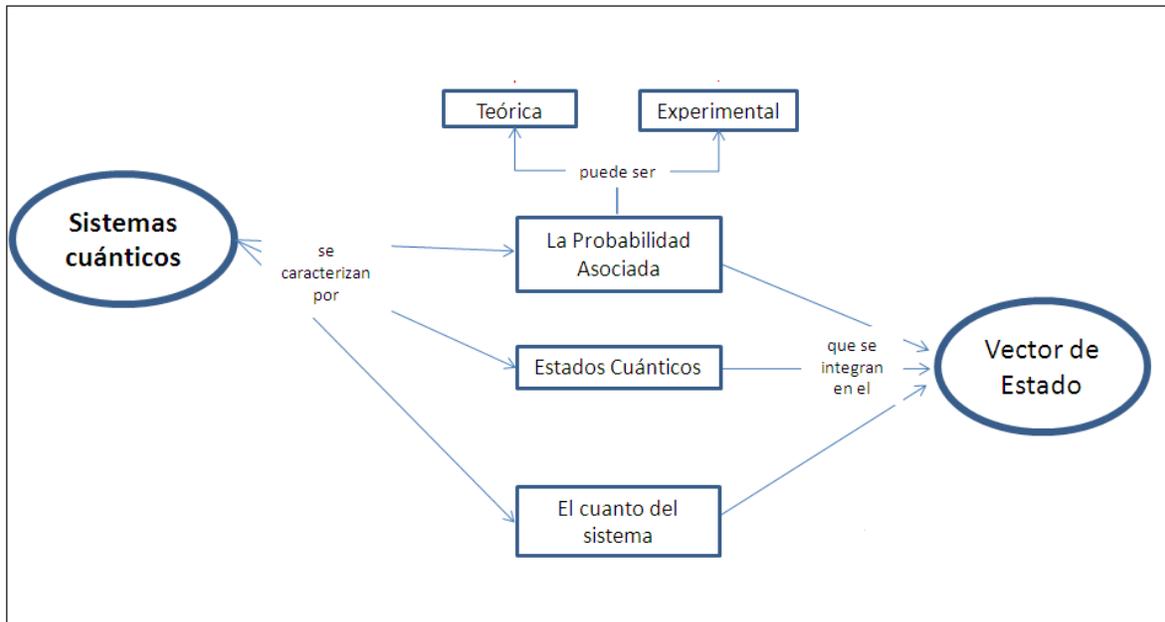


Figura 20. Mapa conceptual final de la sesión 4.

Después les reparte a los equipos algunas paletas luminosas, y muestra como activarlas utilizando una vara luminosa (*light stick*). Además, activa y adhiere al pizarrón los cuatro *light sticks* de diferentes colores: rojo, azul, amarillo y verde. Utilizando el mapa conceptual el profesor inicia una discusión para establecer los estados, las cantidades cuantizadas, y las probabilidades asociadas para el sistema cuántico correspondiente a la vara luminosa. Realiza preguntas como: ¿Podríamos considerar el *light stick* como un sistema cuántico? ¿Cuáles son los dos estados que podemos distinguir? La discusión converge cuando los alumnos distinguen que la vara tiene un estado “prendido” donde emite luz y un estado “apagado” donde no emite luz. El profesor define al estado “apagado” como “estado base” y al estado “prendido” como estado excitado, y escribe los correspondientes kets en el mapa conceptual que se encuentra en el pizarrón (ver figura 20). Después, brevemente el profesor discute que la probabilidad asociada a cada estado no es homogénea (i.e. $\frac{1}{2}$) ya que una vez que se ha prendido una vara luminosa seguirá emitiendo fotones por un lapso de aproximadamente 8 horas como lo indica la envoltura del *light stick* amarillo, e incluye las probabilidades de cada estado en el mapa conceptual. Por último, utilizando nuevamente el mapa conceptual, el profesor les recuerda a los alumnos que para considerar que un fenómeno puede ser descrito de forma cuántica se necesitan tres

elementos: estados cuánticos, probabilidades asociadas y una cantidad cuantizada. Por lo cual guía la discusión para determinar el cuanto del sistema, realiza preguntas como: ¿Qué cantidad puede estar cuantizada? ¿Cuál es la diferencia entre ambos estados? Una vez que los alumnos reconocen que un estado se emite luz y en el otro no, el profesor utiliza la relación entre la energía y la luz de la sesión anterior para argumentar que los estados base y excitado se refieren a estados energéticos y por lo tanto la cantidad cuantizada es la energía.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Abierto
--	--

Una vez que los alumnos han reconocido a la energía como la cantidad cuantizada, el profesor solicita a los alumnos ordenar sus paletas luminosas de acuerdo a la energía de los fotones que emiten, colocando a la izquierda la fuente que emite los fotones menos energéticos y a la derecha la fuente que emite los fotones más energéticos. Además, invita a los estudiantes a ordenar los light stick que se encuentran en el pizarrón (ver figura 21).



Figura 21. Los alumnos ordenan los *light stick* de acuerdo a la energía de los fotones que emiten, a la izquierda se ubica la vara que emite fotones con menor energía y a la derecha se encuentran la vara que emite fotones con la mayor energía.

Actividad 2. El átomo de dos niveles

Objetivo

Construir el modelo del átomo de dos niveles y establecer la relación entre los niveles de energía y los fotones emitidos debido a las transiciones electrónicas.

Fase 1. Introducción y presentación

Una vez que se los alumnos han reconocido los tres elementos que caracterizan al sistema cuántico del *light stick*, el profesor cuestiona a los estudiantes sobre el origen de los fotones emitidos. Después de atender las participaciones de los alumnos presenta la descripción del sistema “paleta luminosa” como un átomo de dos niveles, y realiza un diagrama energético para enfatizar que la diferencia de energía entre ambos niveles (base y excitado) determina la frecuencia de los fotones que se emiten cuando ocurre una transición electrónica.

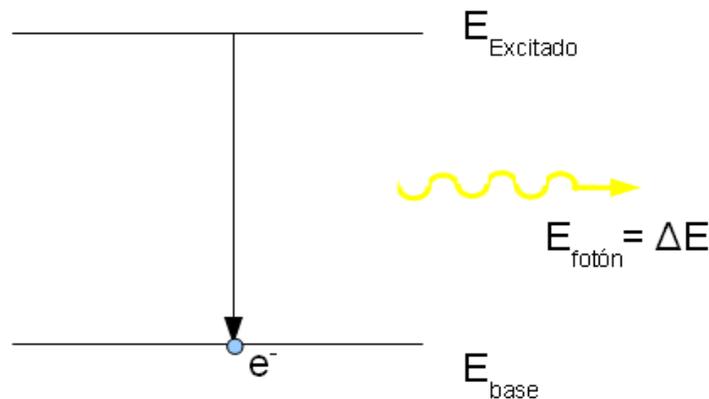


Figura 23. Una transición entre el estado excitado y el estado base tiene como consecuencia la emisión de un fotón.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración | Tipo de trabajo práctico. Abierto

El profesor solicita a los alumnos recuperar del interior de su sobre el analizador de espectro (CD) y que lo utilicen para confirmar que cada una de sus paletas luminosas emite un color principal. Además, reparte a cada equipo la evaluación formativa correspondiente a la séptima sesión, donde los alumnos tienen que realizar un diagrama de energía para cada

vara luminosa que se encuentra en el pizarrón, además deben argumentar que relación existen entre la frecuencia, el color y la energía de los fotones.

Fase 3. Revisión y cierre

Utilizando los *light stick* y sus paletas luminosas los alumnos aplican el modelo del átomo de dos niveles donde la cantidad cuantizada es la energía y los estados accesibles son: base y excitado. Además, dicho sistema emite un fotón, que corresponde exactamente a la diferencia de energía entre los dos niveles, cuando se hace una transición electrónica. Por lo tanto, la frecuencia de los fotones emitidos depende de los niveles energéticos del sistema. El profesor invita a integrar el diagrama de energía para un átomo de dos niveles en contraportada de su sobre.

Actividad 3. Probabilidad dependiente del tiempo

Objetivo

Reconocer que la probabilidad de emisión de un fotón es una función temporal.

Fase 1. Introducción y presentación

Aprovechando los *light stick* que se encuentran en el pizarrón, el profesor pregunta a los alumnos ¿Cuál de estas fuentes emite los fotones más energéticos? ¿Cuál de estas fuentes dejará de emitir los fotones primero? Después de escuchar los argumentos de los alumnos, el profesor presenta las envolturas del *light stick* donde se indica que la duración la vara roja es de 8 horas mientras que la vara azul tiene una duración aproximada de 6 horas. Enseguida pregunta ¿Cuál es la probabilidad de emitir un fotón azul después de 6 horas? ¿Cuál es la probabilidad de emitir un fotón azul a los 5 minutos de activar la vara? Con las contribuciones de los estudiantes el profesor puntualiza que para este sistema cuántico (*light stick*) la probabilidad es una función del tiempo, es decir $P = P(t)$, además enfatiza esta dependencia en el mapa conceptual del *light stick* (ver figura 24).

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración

Después el profesor guía una discusión para realizar un esbozo de la gráfica que describe el comportamiento de las probabilidades asociadas a los estados base $P_1(t)$ y excitado $P_2(t)$. Además, enfatiza que la probabilidad se conserva, es decir: $P_1(t) + P_2(t) = 1$ para todo instante de tiempo (t).

Fase 3. Revisión y cierre

Para finalizar la sesión, el profesor puntualiza la dependencia temporal en el vector de estado del *light stick*. Y señala que para un tiempo $t \ll 1$ la vara está encendida y por lo tanto el vector de estado prácticamente se corresponde con el ket del estado excitado, mientras que para $t \gg 1$ la vara luminosa está apagada y por ende el vector de estado se corresponde con el ket del estado base. Por último, el profesor invita a los estudiantes a incluir la dependencia temporal de la probabilidad en la contraportada de su sobre.

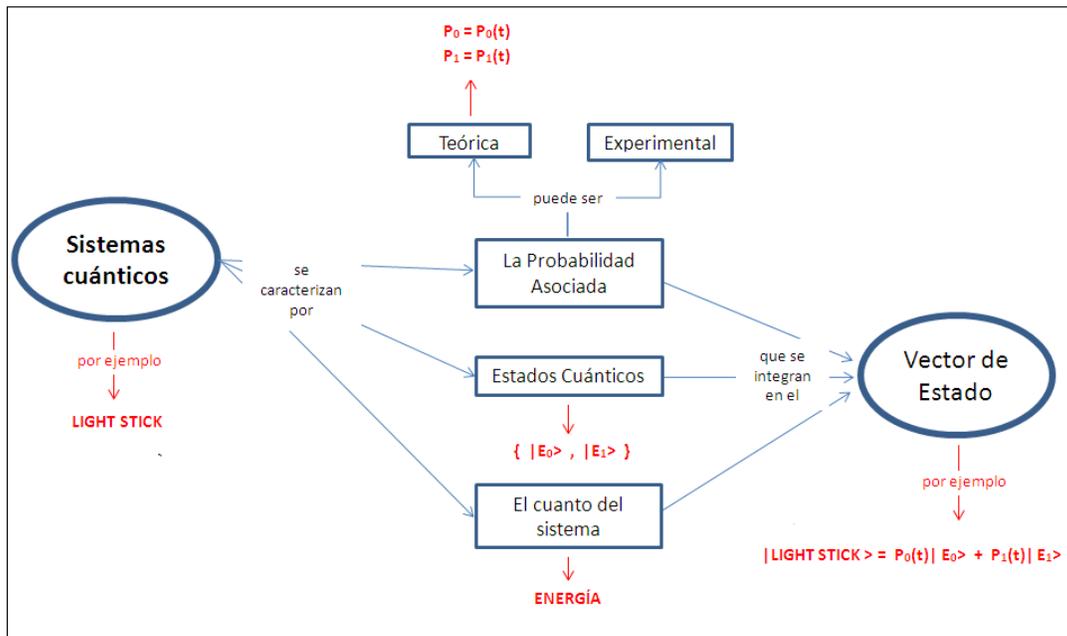


Figura 24. Mapa conceptual para el *light stick*, se enfatiza la dependencia temporal de la probabilidad asociada a cada estado.

● Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 7)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 16) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 17). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la séptima sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 16 y 17).

Tabla 16. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Presenta el funcionamiento de las varas luminosas (<i>light sticks</i>).	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO6	Adecuada
		CO13	Adecuada
2. Discute los estados, probabilidades y la cantidad cuantizada en la vara luminosa.	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO16	Adecuada
3. Presenta el vector de estado para la vara luminosa.	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO13	Excelente
		CO16	Adecuada
4. Presenta el modelo del átomo de dos niveles.	ACTIVIDAD 2. Fase 1	CO13	Adecuada
		CO16	Adecuada
5. Discute la dependencia temporal de la probabilidad asociada a cada estado (base y excitado).	ACTIVIDAD 3. Fase 1	CO2	Adecuada
		CO5	Excelente
		CO13	Adecuada
6. Discute la gráfica de la probabilidad como función del tiempo.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO2	Deficiente
		CO5	Adecuada
	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO5	Adecuada

7. Presenta el vector que estado depende del tiempo para la vara luminosa.		CO16	Adecuada
--	--	-------------	----------

Tabla 17. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Utilizan su sobre para recuperar el mapa conceptual de la cuarta sesión.	ACTIVIDAD 1. Fase 1	CO12	Excelente
		CO14	Adecuada
2. Ordenan los <i>light sticks</i> de acuerdo a la energía de los fotones que emiten.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO10	Excelente
		CO15	Adecuada
3. Integran conceptos en la contraportada de su sobre.	ACTICIDAD 1. Fase 3 ACTICIDAD 3. Fase 3	CO12	Excelente
		CO16	Adecuada
4. Utiliza un CD para analizar de la luz emitida por diferentes <i>light sticks</i> .	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO2	Adecuada
5. Realizan diagramas de energía para sistemas de dos niveles.		CO3	Adecuada
		CO4	Adecuada
6. Relacionan la frecuencia, el color y la energía de los fotones.		CO10	Excelente
		CO15	Adecuada
7. Integran el modelo del átomo de dos niveles en la contraportada se su sobre.	ACTICIDAD 2. Fase 3	CO12	Adecuada
		CO16	Adecuada

En la séptima sesión el número de procedimientos realizados por los estudiantes iguala al número de procedimientos guiados por el profesor, por lo tanto, la responsabilidad de la clase queda igualmente compartida entre el profesor y los alumnos.

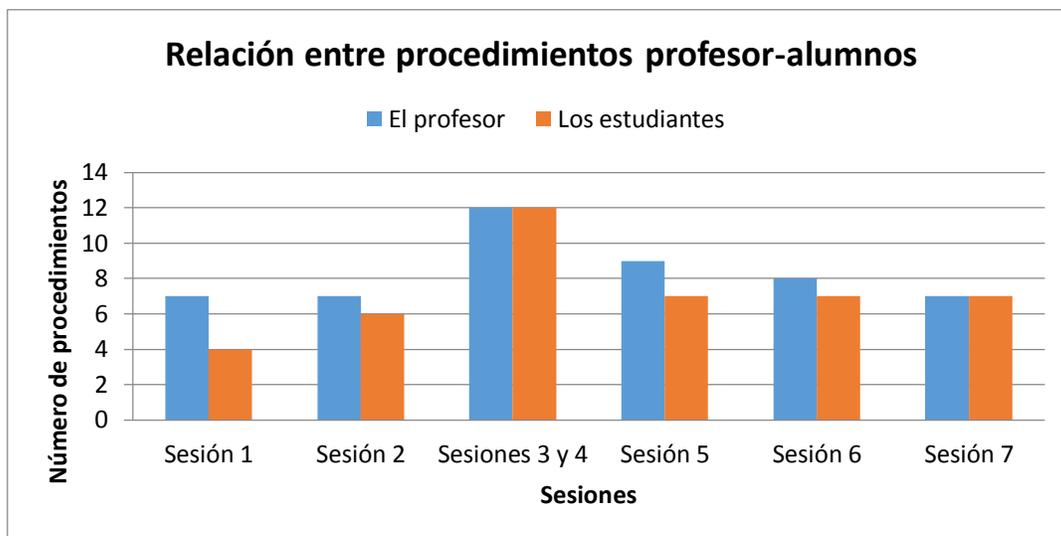


Figura 25. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 a 7.

A1.9 Octava sesión, modelo atómico de múltiples niveles

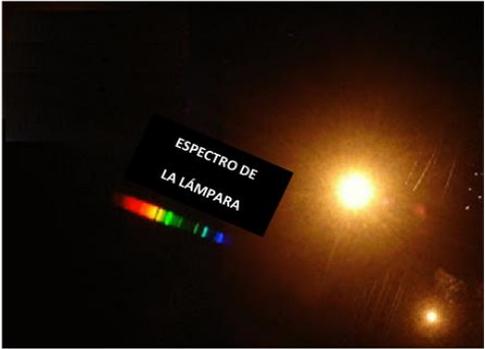
○ Resumen

Uno de los resultados más importantes y que contribuyó de forma crucial a establecer a la mecánica cuántica como una teoría sólida fue la explicación del espectro de emisión del átomo de hidrógeno, resultado propuesto teóricamente por Bohr y que obtenido previamente de forma experimental por Leeman (Serwey y Jewett, 2003). En la última sesión los alumnos aplican los múltiples conceptos que han desarrollado en las sesiones previas para ser coparticipes del resultado antes mencionado, es decir logran identificar un átomo a partir de su espectro de emisión y además son capaces de proponer un modelo de cuantización de energía que justifica este espectro emisión de fotones (con diferentes frecuencias) que se origina a partir de las transiciones electrónicas entre diferentes niveles atómicos.

Cabe señalar que el espectro de emisión que utilizan los estudiantes es de índole experimental y se obtiene al analizar la luz de una lámpara del alumbrado público.

○ Carta descriptiva de la sesión 8

DATOS GENERALES						
Asignatura	Física III	Unidad 5	Estructura de la materia.	Subtema	5.6 Modelos atómicos	
Tema a desarrollar	Modelo atómico de múltiples niveles	Tiempo asignado	50 min.	Grupo	404	
				Fecha	20/03/2013	
				Sesión	8/8	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SESIÓN						
Disciplinarios			Pedagógicos – Resilientes			
* Identificar al átomo con un sistema cuántico de múltiples niveles. * Espectroscopia de fuentes luminosas que se encuentran en el entorno cotidiana del estudiante.			P1	P2	P3	P4
			CO2	CO5	CO9 CO10 CO12	CO13 CO14 CO15 CO16
ORGANIZADOR DE AVANCE						
Conceptos Previos:			Conceptos a Desarrollar:			
-Estados cuánticos -Sistema cuántico -Probabilidad teórica -Probabilidad experimental -Notación de Dirac -Vectores de estado			-Gotones -Fotones -Difracción por reflexión -Espectro de emisión -Energía de un fotón -Modelo atómico de dos niveles			
			-Modelo atómico de múltiples niveles			
MATERIAL DIDÁCTICO (Alumnos)						
<ul style="list-style-type: none"> • Crayola rojo • Crayola verde • Crayola azul • Crayola morada • Crayola naranja 						

MATERIAL DIDÁCTICO (Profesor)	
<ul style="list-style-type: none"> • Imagen del espectro de emisión correspondiente a lámpara “amarilla” del alumbrado público. 	
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1. Un análisis espectroscópico • Actividad 2. El modelo cuántico de múltiples niveles • Actividad 3. El átomo como un sistema cuántico 	
EVALUACIÓN	
Esta evaluación sumativa se realizó de forma presencial durante la última (ver anexo 2).	

○ Descripción de actividades

Actividad 1. Un análisis espectroscópico

Objetivo

Identificar una fuente luminosa del alumbrado público (lámpara amarilla) a partir de su espectro de emisión.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Guiado
--	---

El profesor guía una discusión y recupera el análisis de la luz emitida por la lámpara “amarilla” del alumbrado público que realizaron (extra clase) los estudiantes en la evaluación de la sesión anterior. Con las participaciones de los alumnos, el profesor registra en el pizarrón los colores conforman el espectro de dicha lámpara. Enseguida reparte la evaluación sumativa correspondiente a esta sesión, y solicita a los estudiantes que observen nuevamente el espectro de la lámpara amarilla que se incluye en dicha evaluación (ver anexo 2). Realiza preguntas como: ¿Por qué la lámpara emite estos colores? ¿Su superficie

está pintada de algún color? ¿Cómo podemos saber el material (gas) que está dentro de la lámpara? ¿Si descolgamos la lámpara y la abrimos podríamos saber que hay en su interior? La discusión cierra cuando los alumnos establecen que la luz emitida por la lámpara, al igual que en el caso de los leds, está intrínsecamente asociada al material que tiene a su interior y no al color de la superficie de la lámpara ya que esta es transparente. Por lo tanto, al analizar el espectro en que emite la lámpara es posible identificar el material en su interior.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración | **Tipo de trabajo práctico.** Abierto

El profesor pide a los equipos que utilicen las imágenes incluidas en la evaluación sumativa (figura 26), y comparen el espectro de la lámpara amarilla con los espectros de diferentes elementos para determinar qué material se encuentra en el interior de esta fuente de luz.

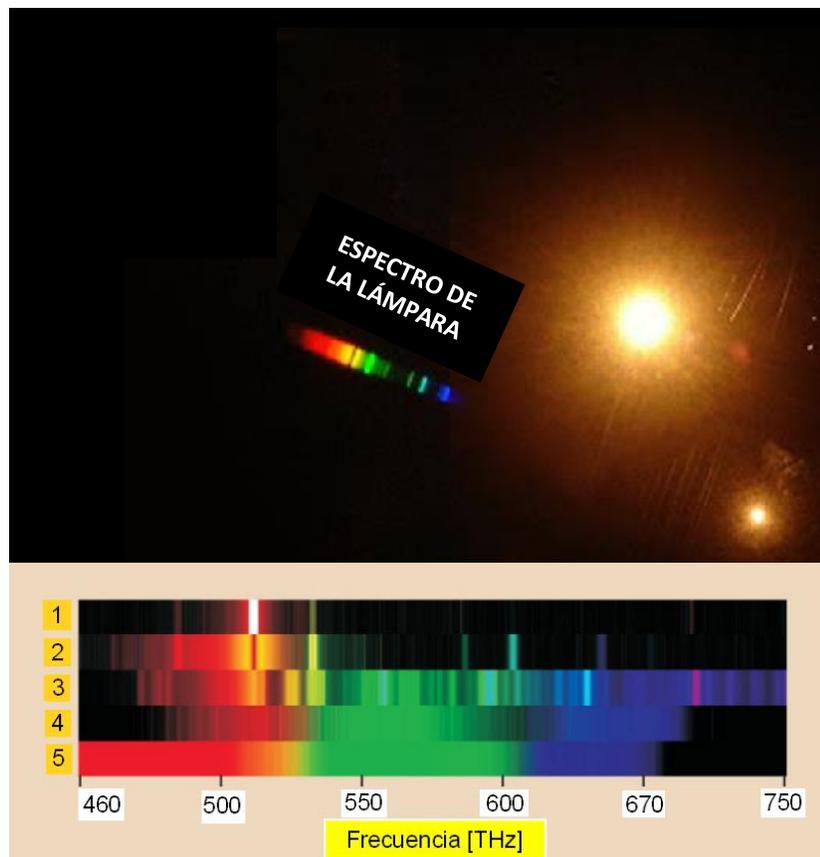


Figura 26. Arriba. Imagen del espectro de emisión de la lámpara amarilla del alumbrado público Abajo, Espectro de emisión de: sodio a baja presión (1), sodio a alta presión (2), mercurio con haluros metálicos (3), seleniuro de zinc (4), tungsteno (5).

Fase 3. Revisión y cierre

Los estudiantes comparten sus resultados y argumentan la elección del espectro de emisión. Además, el profesor puntualiza el éxito que han alcanzado, pues analizando el espectro de emisión de la lámpara amarilla han logrado determinar que el material (gas) contenido en su interior es sodio a alta presión.

Actividad 2. El modelo cuántico de múltiples niveles

Objetivo

Generalizar el sistema de dos niveles para construir un modelo de múltiples niveles que admite transiciones electrónicas.

Fase 1. Introducción y presentación	Tipo de trabajo práctico. Estructurado
--	---

El profesor activa dos *light sticks*, uno rojo y otro azul, y con las contribuciones de los alumnos realiza en el pizarrón los respectivos diagramas de energía de cada vara luminosa. El profesor guía una discusión para determinar cómo sería el diagrama de energía si mezclara el contenido de ambas varas luminosas. Es importante que el profesor no mezcle directamente el líquido de los *light sticks*, y aunque es posible realizar dicha acción, la intención de esta actividad es alejarse de un pensamiento totalmente concreto y fomentar el pensamiento abstracto. La discusión cierra cuando con las contribuciones de los estudiantes se realiza un diagrama de tres niveles de energía con dos transiciones electrónicas que generan dos tipos de fotones: rojo y azul.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Guiado
--	---

El profesor activa una tercera vara luminosa (color verde) y pide a los estudiantes que argumenten cómo sería el diagrama de energía correspondiente a la mezcla de estos tres *light sticks*. Con las contribuciones de los estudiantes en el pizarrón se realiza el siguiente diagrama de energía de cuatro niveles con tres transiciones electrónicas que generan fotones: rojo, verde y azul.

Fase 3. Revisión y cierre

El sistema de tres niveles permite describir a una fuente que emite en dos frecuencias diferentes, los fotones emitidos son consecuencia de las dos transiciones electrónicas hacia el estado base. Análogamente en el sistema de cuatro niveles se tiene la emisión de tres fotones de diferente color (frecuencia). Los alumnos integran los conceptos más importantes de esta actividad en la contraportada de su sobre.

Actividad 3. El átomo como un sistema cuántico

Objetivo

Reconocer al átomo cómo un sistema cuántico de múltiples niveles de energía, cuyas transiciones energéticas entre niveles tienen como consecuencia la emisión de fotones de diferentes frecuencias.

Fase 1. Introducción y presentación

Tipo de trabajo práctico. Estructurado

El profesor pregunta a los alumnos ¿Conocen alguna otra fuente que emita luz en más de una frecuencia, es decir que emita en más de un color? Después de escuchar las contribuciones de los alumnos, el profesor propone que analicen nuevamente la imagen de la lámpara de sodio a alta presión (ver figura 27).



Figura 27. Espectro de emisión de la lámpara de sodio (a alta presión) que se utiliza en el alumbrado público.

El profesor guía una discusión sobre el espectro de emisión de la lámpara de sodio a alta presión, hace preguntas como: ¿Si la lámpara se desconecta de la corriente eléctrica sigue emitiendo luz? ¿Por qué emite solamente en algunas frecuencias? ¿Cómo es el diagrama de energía de los átomos del gas? La discusión cierra cuando los alumnos identifican que el espectro emitido es producido por las transiciones electrónicas entre diferentes niveles de los átomos que están contenidos en el interior de la lámpara.

Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración	Tipo de trabajo práctico. Abierto
--	--

Para sintetizar esto se solicita los alumnos que realicen la pregunta 2 de la evaluación sumativa previamente repartida, en ella tienen que realizar un esbozo del diagrama de energía de los átomos de gas contenido en la lámpara.

Fase 3. Revisión y cierre

Los alumnos identifican al átomo como un sistema cuántico de múltiples niveles (estados cuánticos), cuya cantidad cuantizada es la energía. Además, este sistema admite transiciones entre sus niveles, emitiendo luz en frecuencias que los caracterizan. Con las contribuciones de los alumnos el profesor aplica el mapa conceptual de la cuarta sesión al sistema cuántico del átomo (ver figura 28).

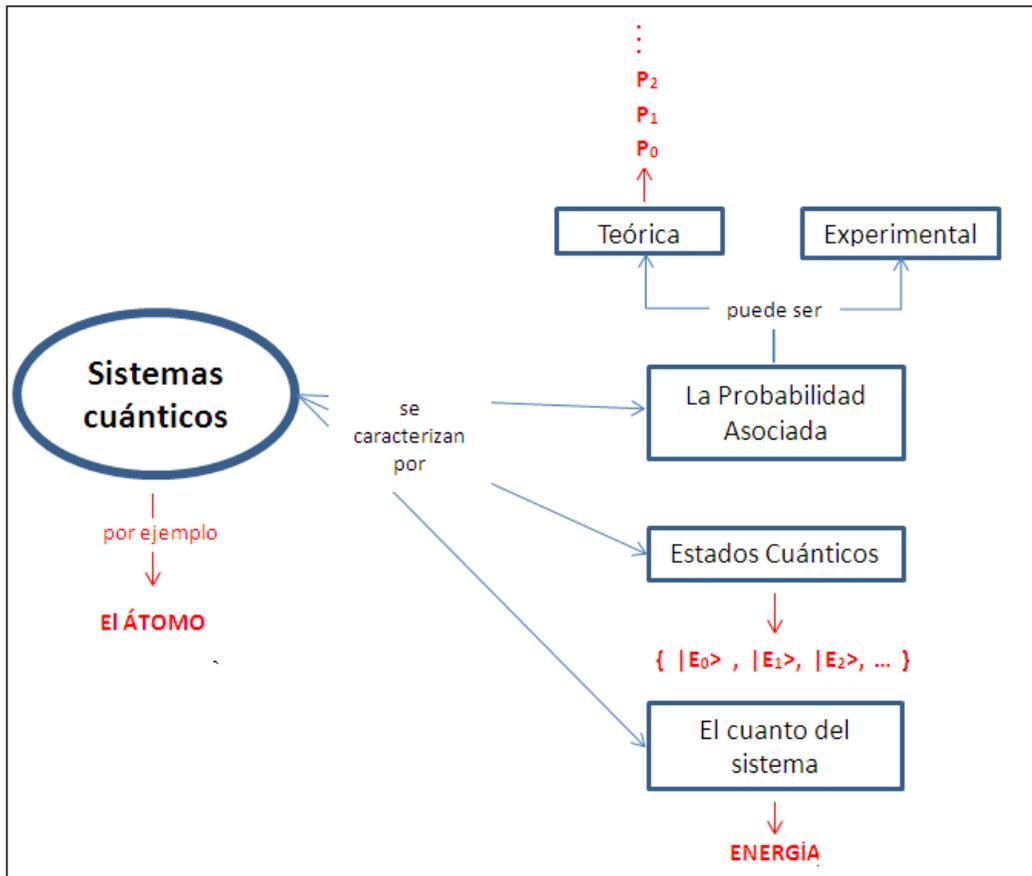


Figura 28. Mapa conceptual de la cuarta aplicado al átomo

Para finalizar la sesión los alumnos responden en la evaluación sumativa de la sesión, preguntas sobre mecánica cuántica similares a las realizadas en la evaluación diagnóstica de la primera sesión. Además, los alumnos comparten sus repuestas y reflexionan sobre sus aprendizajes.

● Reflexión sobre la práctica docente (SESIÓN 8)

Al analizar las tres fases (Fase 1. Introducción y presentación, Fase 2. Supervisión de la comprensión e integración, Fase 3. Revisión y cierre) para desarrollar esta sesión de forma congruente con el modelo exposición-discusión, es posible reconocer los procedimientos guiados por el profesor es decir donde tiene un papel más relevante (ver tabla 18) y también identificar los procedimientos realizados por los estudiantes donde se favorece la auto-organización y el libre intercambio de ideas entre pares (ver tabla 19). Además, se evaluó la ejecución de cada criterio de operación CO planteado al inicio de la carta descriptiva correspondiente a la octava sesión. Se utilizó una escala de cero a tres con las siguientes

categorías: deficiente (1) para un procedimiento que no logró alcanzar el objetivo señalado en el CO, adecuada (2) para un procedimiento que es congruente con el CO pero no logra satisfacerlo totalmente y excelente (3) en el caso de un procedimiento que satisface la descripción del criterio de operación (ver tablas 18 y 19).

Tabla 18. Descripción de los procedimientos guiados por el profesor.

El profesor	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Discute los resultados obtenidos en la evaluación extra clase de la séptima sesión.	Actividad 1. Fase 1	CO5	Adecuada
		CO9	Deficiente
		CO13	Adecuada
2. Reflexiona sobre la espectroscopia realizada a una lámpara del alumbrado público.	Actividad 1. Fase 3	CO5	Adecuada
3. Generaliza el sistema del átomo de dos niveles.	Actividad 2. Fase 1	CO13	Excelente
		CO16	Adecuada
4. Relaciona las transiciones electrónicas en el átomo con la emisión de luz.	Actividad 3. Fase 1	CO16	Adecuada
5. Aplica el mapa conceptual final de la cuarta sesión, al átomo.	Actividad 3. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO14	Adecuada

Tabla 19. Descripción de los procedimientos realizados por los estudiantes.

Los alumnos	Ubicación (actividad y fase)	Criterios de Operación	Ejecución
1. Identifican el espectro de emisión de la lámpara amarilla del alumbrado público.	ACTIVIDAD 1. Fase 2	CO5	Excelente
		CO15	Adecuada
		CO16	Adecuada
2. Determinan el gas contenido dentro de la lámpara amarilla.	ACTIVIDAD 1. Fase 3	CO2	Adecuada
		CO16	Excelente
3. Establecen el diagrama de energía de tres niveles.	ACTIVIDAD 2. Fase 2	CO5	Excelente
		CO16	Adecuada
4. Integran conceptos en la contraportada de su sobre.	ACTIVIDAD 2. Fase 3	CO12	Excelente
		CO16	Adecuada
5. Esbozan los niveles de energía de los átomos de sodio a alta presión.	ACTIVIDAD 3. Fase 2	CO5	Excelente
		CO16	Adecuada

6. Responden preguntas similares a las de la evaluación diagnóstica de la primera sesión.	ACTIVIDAD 3. Fase 3	CO5	Adecuada
		CO10	Excelente
CO14		Adecuada	
CO16		Adecuada	
7. Reflexionan sobre los aprendizajes que han alcanzado con respecto a la mecánica cuántica.			

En la octava sesión se ha logrado implementar la transferencia de la responsabilidad hacia los estudiantes, y el número de procedimientos realizados por los alumnos supera a los guiados por el profesor. Por lo tanto, el papel del docente tiene una relevancia menor y la clase pasa a estar centrada en los estudiantes.

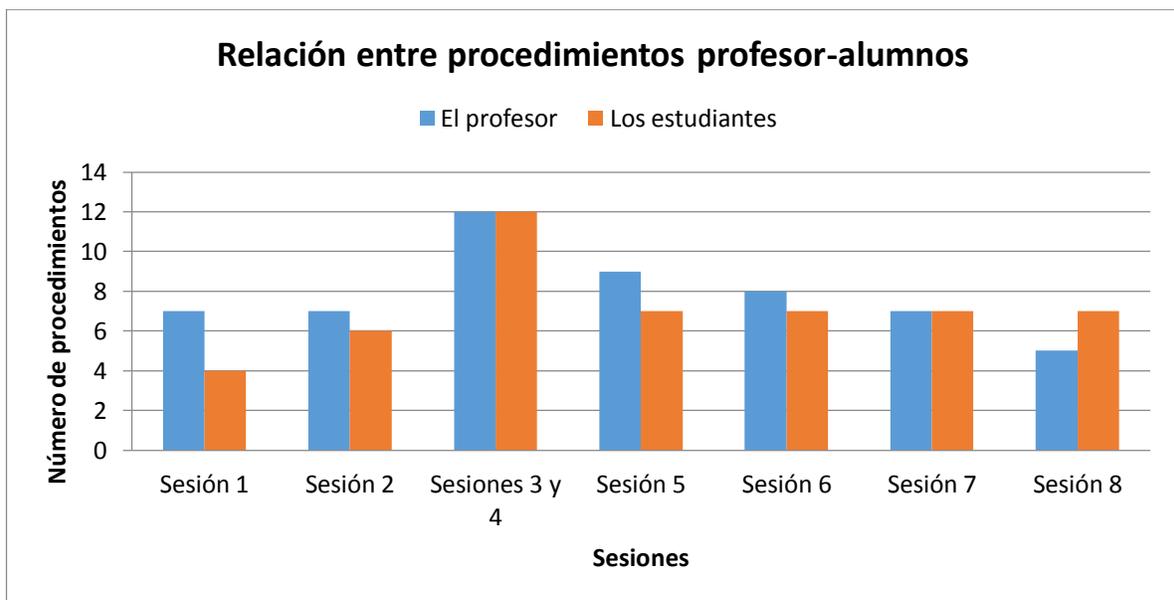


Figura 29. La relación entre los procedimientos guiados por el profesor y los procedimientos realizados por los estudiantes para las sesiones 1 a 8.

ANEXO 2 INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

A2.0 Introducción

En quipos de 3 o 4 integrantes los estudiantes realizaron tres tipos de evaluaciones: diagnóstica, formativa y sumativa. La evaluación diagnóstica permitió conocer las ideas previas de los alumnos acerca de la mecánica cuántica, las evaluaciones formativas tuvieron como finalidad reforzar los conceptos desarrollados con preguntas o actividades vinculadas a ejemplos trabajados durante las sesiones y las evaluaciones sumativas tuvieron un sentido integrativo de los conceptos buscando que los alumnos aportaran nuevos ejemplos en contextos científicos o que logran generalizaciones, ver tabla 20.

Tabla 20. Relación entre las evaluaciones y las sesiones

Sesión	Evaluación	Forma de aplicación
1	Diagnóstica	Durante la clase
2	Formativa	Extra clase (Blog)
3 y 4	Sumativa	Extra clase (Blog)
5	Formativa	Durante la clase
6	Sumativa	Extra clase (Blog)
7	Formativa	Durante la clase
8	Sumativa	Durante la clase

En general los instrumentos de evaluación permiten a los estudiantes reflexionar sobre sus aprendizajes y al profesor conocer sus avances, pero el planteamiento de los instrumentos aquí utilizados también permite el ejercicio de dos criterios de operación específicos: CO7 y CO11. Las actividades extra clase permiten promover entre los estudiantes una cultura de desarrollo permanente donde el aprendizaje no termina cuando concluye la clase (criterio CO7, presentado en el capítulo 2), además al utilizar diferentes medios para expresar sus ideas; cuestionarios escritos y electrónicos, se fomenta el uso de múltiples representaciones ya que los estudiante deben ser capaces de expresar coherentemente sus ideas, ejemplos y conclusiones adaptándose a las ventajas y limitaciones propias del medio que se utilizando (criterio C11, descrito en el capítulo 2). Cabe señalar de que a pesar de al inicio los estudiantes manifestaron que no habían trabajado en un medio electrónico como

el blog se tuvo una participación promedios superior al 80% en las evaluaciones extra clase, al utilizar el portafolio de evidencias (ver capítulo 2) se recuperaron 90% de las evaluaciones realizadas de forma presencial. Por lo tanto, la ejecución de ambos CO es adecuada, de acuerdo a la escala utilizada en el anexo 1.

A continuación, se presenta cada instrumento de evaluación, mientras que los ejemplos representativos de la respuesta de los alumnos ante estas evaluaciones se detallan en el anexo 3.

A2.1 Evaluación diagnóstica, SESIÓN 1

Durante la primera sesión se aplicó un cuestionario conformado por tres preguntas, cuya finalidad fue indagar las ideas previas de los alumnos con respecto a la mecánica cuántica, ver figura 30.

Instrucciones
Formen equipos de cuatro personas y respondan las siguientes preguntas.

Número del equipo.- _____

Integrantes del equipo y correo electrónico:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

Lean el siguiente texto y respondan las preguntas.
Suponga que de pronto al dar la vuelta en una esquina se encuentra con algún personaje (el de su preferencia) que vivió en el siglo XIX. Al entablar una conversación con este particular personaje, él quiere enterarse de los múltiples avances que se han hecho en la cultura, el arte y la ciencia. En particular, con respecto a la ciencia está intrigado por una mecánica, llamada “mecánica cuántica”, la cual es diferente de la mecánica Newtoniana que él sabe. Y entonces le hace a usted (que es un joven del siglo XXI) las siguientes tres preguntas:

1.- ¿Dónde se aplican los principios de la mecánica cuántica?

2.- ¿Qué es un sistema cuántico?

3.- ¿Qué sistemas cuánticos conoces?

Figura 30. Evaluación diagnóstica realizada durante la primera sesión.

A2.2 Evaluación formativa, SESIÓN 2

Al término de la segunda sesión los equipos de estudiantes respondieron la siguiente evaluación de índole formativa directamente en el blog (ver figura 31).

Sesión 1 y 2. Mecánica Cuántica

1.- ¿Qué elementos consideras importantes para describir un sistema cuántico?

2.- Juan tira un dado y obtiene un 4. ¿En su siguiente tiro obtendrá nuevamente un cuatro? Justifica tu respuesta.

3.- Imagina que tienes un dado en forma de tetraedro (es decir un "triángulito boing") como el que se muestra en la figura 1. Si en cada esquina colocamos un número;

- a) ¿Cuáles son los estados de este sistema cuántico?
- b) ¿Cuál es la probabilidad teórica asociada a cada estado?
- c) ¿Cómo calcularías la probabilidad experimental asociada a cada estado?

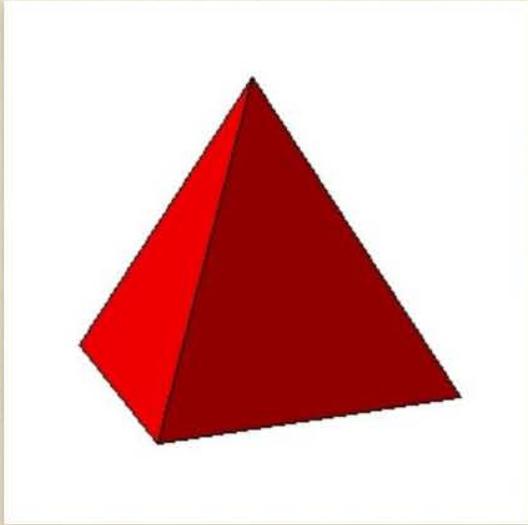


Figura 1.

4.- Da un ejemplo de otro sistema cuántico, QUE NO SEAN DADOS Y MONEDAS, que hayas observado en tu vida cotidiana. Recuerda explicar brevemente porqué consideras que tu ejemplo es un sistema cuántico.

Figura 31. Imagen del blog (www.grup404.blogspot.mx) con la evaluación formativa realizada en una modalidad extra clase al término de la segunda sesión.

A2.3 Evaluación Sumativa, SESIONES 3 y 4

Esta evaluación consistió en un cuestionario y fue realizado después de la cuarta sesión directamente en el blog www.grup404.blogspot.mx (ver figura 32).

Sesión 3 y 4. Vectores de Estado

1.- Escribe el **VECTOR DE ESTADO** del sistema cuántico que propusiste como ejemplo en la tarea anterior.

Para responder las siguientes tres preguntas recuerden que el **LÁSER** y **LA FUENTE DE GOTONES (jeringa)** son sistemas cuánticos similares.



2.- ¿Identifica los tres elementos más importantes que caracterizan al sistema cuántico láser? Recuerda justificar cada uno de ellos.

3.- Se hacen 1012 mediciones* para el sistema cuántico láser. La frecuencia del $|0\rangle$ es 823, la frecuencia del $|1\rangle$ es 166, la frecuencia del $|2\rangle$ es 22 y la frecuencia del $|3\rangle$ es 1.

- Calcula la probabilidad experimental de cada estado.
- Escribe el **vector de estado experimental** de este sistema cuántico.

*Estos datos experimentales son reales y fueron presentados en el LI Congreso Nacional de Física.

4.- Para la fuente de gotones el papel resultaba ser un detector adecuado, ¿Qué propones utilizar como detector para el sistema cuántico láser?

5.- Respondan nuevamente estas dos preguntas que hicimos al principio de este módulo de mecánica cuántica:

- ¿Qué es un sistema cuántico?
- ¿Donde se aplican los principios de la mecánica cuántica?

Figura 32. Imagen del blog con la evaluación sumativa de la tercera y cuarta sesión

A2.4 Evaluación Formativa, SESIÓN 5

Esta evaluación de índole formativa se realizó de forma presencial durante la quinta sesión. En ella se implementó una actividad experimental para identificar y registrar sistemáticamente en una tabla (denominada “Tabla de Colores”) las componentes de la luz que proviene de diferentes LEDS utilizando a un CD como espectrómetro cualitativo (ver figura 33).

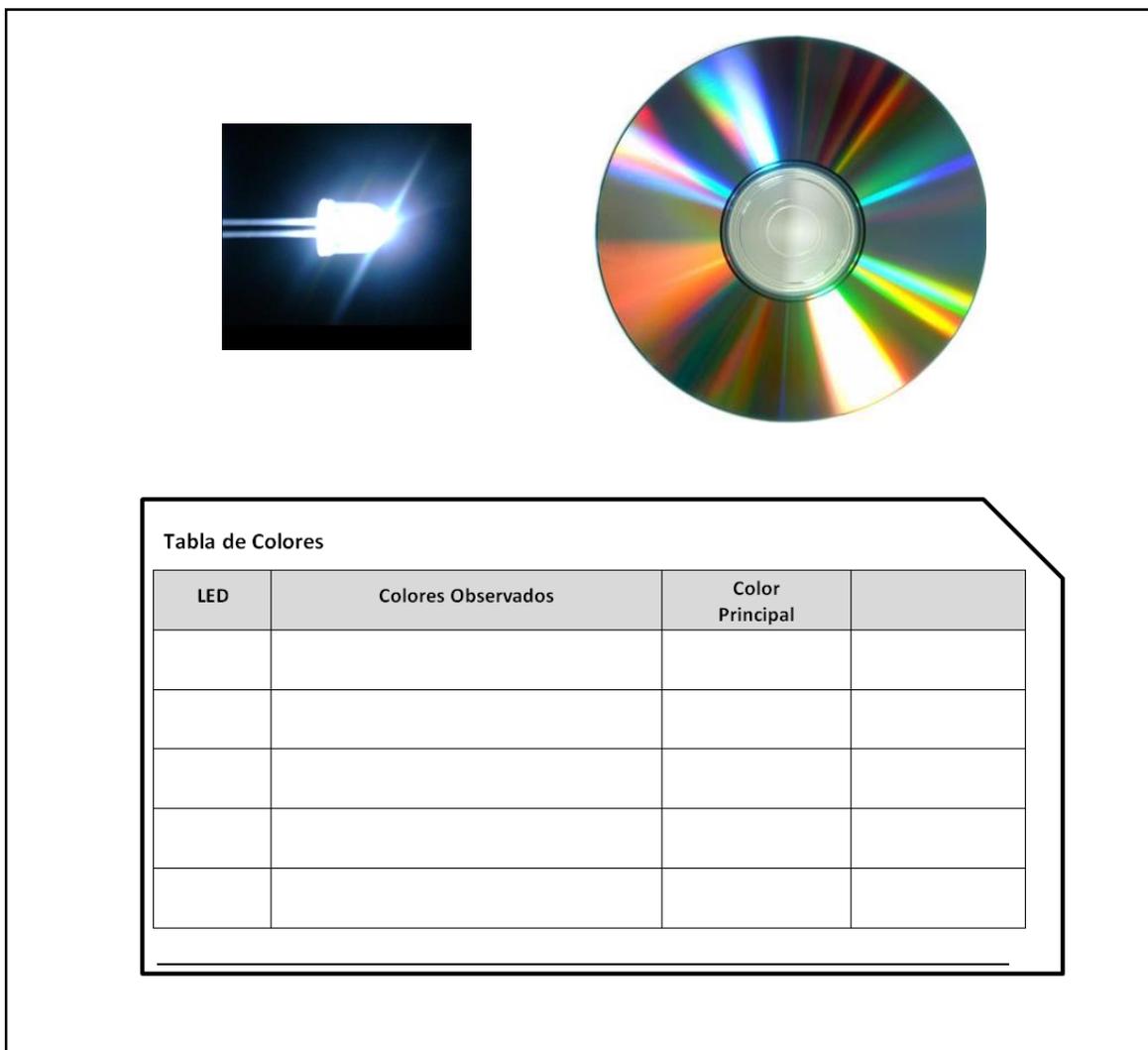


Figura 33. (Arriba) Un disco compacto (CD) puede utilizarse como una rejilla de difracción por reflexión para la luz que se encuentra en el espectro visible. (Abajo) Se presenta la “tabla de colores” que se utilizó para el registro sistemático de la información obtenida con el espectrómetro cualitativo (CD).

A2.5 Evaluación Sumativa, SESIÓN 6

Esta evaluación de índole sumativa consistió en un cuestionario que fue respondido extra clase directamente en el blog al término de la sexta sesión (ver figuras 34 y 35).

Sesiones 5 y 6

1.- Ordena los siguientes LEDs del 1 al 4 dependiendo de la energía de su luz, coloca en primer lugar el de **MAYOR** energía y en último lugar el de **MENOR** energía.

LED	Color Principal	Frecuencia
	Rojo	453 THz
	Azul	645 THz
	Verde	556 THz
	Amarillo	517 THz

2.- ¿Cómo determinaste cual luz tiene **MÁS** energía y cual luz tiene **MENOS** energía?

3.- Ubica una lámpara **AMARILLA** del alumbrado público cerca de tu casa, colócate debajo de ella con tu analizador de luz (CD). Si lo haces con calma observarás una serie de líneas de colores sobre el **DISCO**, este es el **ESPECTRO DE EMISIÓN** de la lámpara **AMARILLA**. (ver imagen). ¿Qué colores observaste para la lámpara **AMARILLA** del alumbrado público?

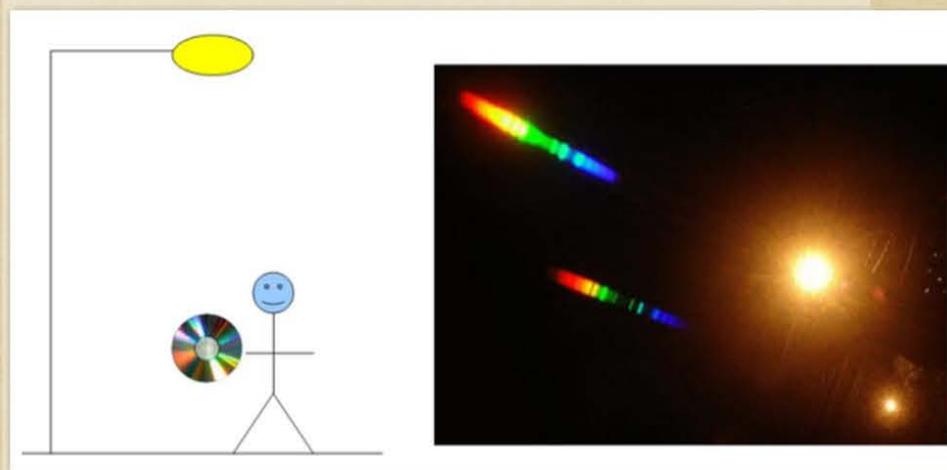


Figura 34. Imagen del blog (www.grup404.blogspot.mx) con la evaluación sumativa realizada extra clase después de la sexta sesión.

4.-Ahora ubica una lámpara BLANCA-VERDOSA. ¿Qué colores tiene el espectro de emisión de la lámpara BLANCA-VERSOSA del alumbrado público?



Figura 35. Imagen del blog (www.grup404.blogspot.mx) con la última pregunta evaluación sumativa realizada extra clase después de la sexta sesión.

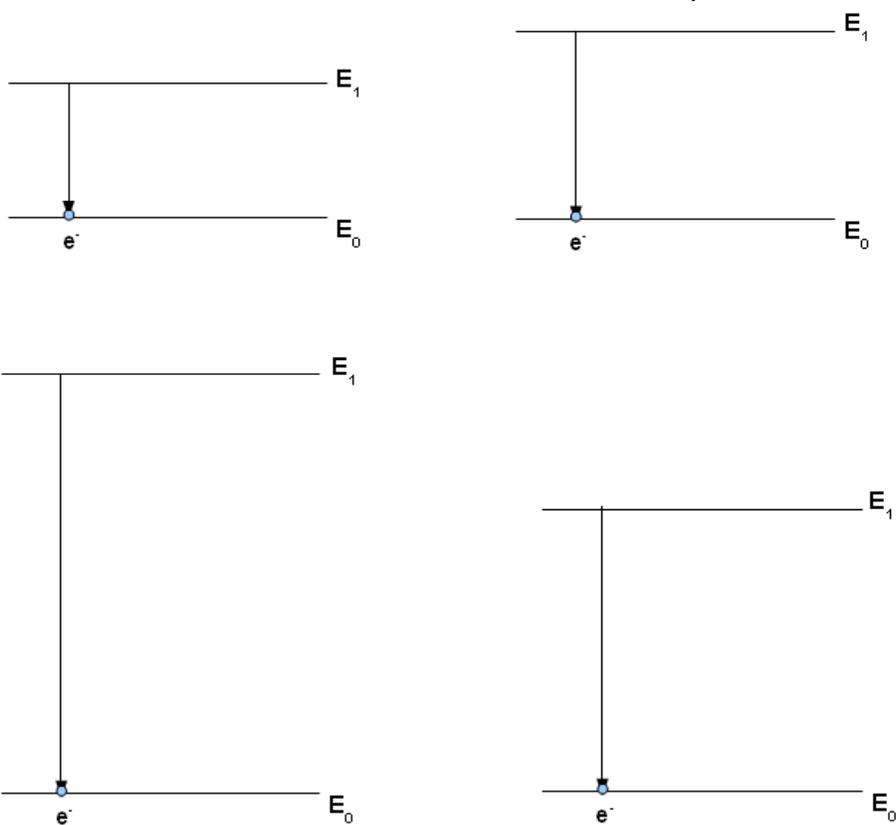
A2.6 Evaluación Formativa, SESIÓN 7

Esta evaluación consistió en un cuestionario de dos preguntas y fue respondido en equipos de tres a cuatro alumnos durante la séptima sesión (ver figuras 36).

EQUIPO: _____

Instrucciones. En equipos respondan las siguientes preguntas.

1. Completa los siguientes diagramas de energía dibujando el fotón que es liberado. Utiliza los colores: **ROJO, VERDE, AMARILLO** y **AZUL**.



2. ¿Cómo identificaste el color del fotón que le correspondía a cada diagrama?

Figura 36. Imagen de la evaluación formativa realizada durante la séptima sesión.

A2.7 Evaluación Sumativa, SESIÓN 8

Esta evaluación de forma presencial durante la última sesión por equipos de 3 o 4 alumnos (ver figuras 37 y 38).

EQUIPO: _____

Instrucciones. En equipos respondan las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál de los siguientes espectros le corresponde a la “lámpara amarilla” del alumbrado público? (ver figura 1)

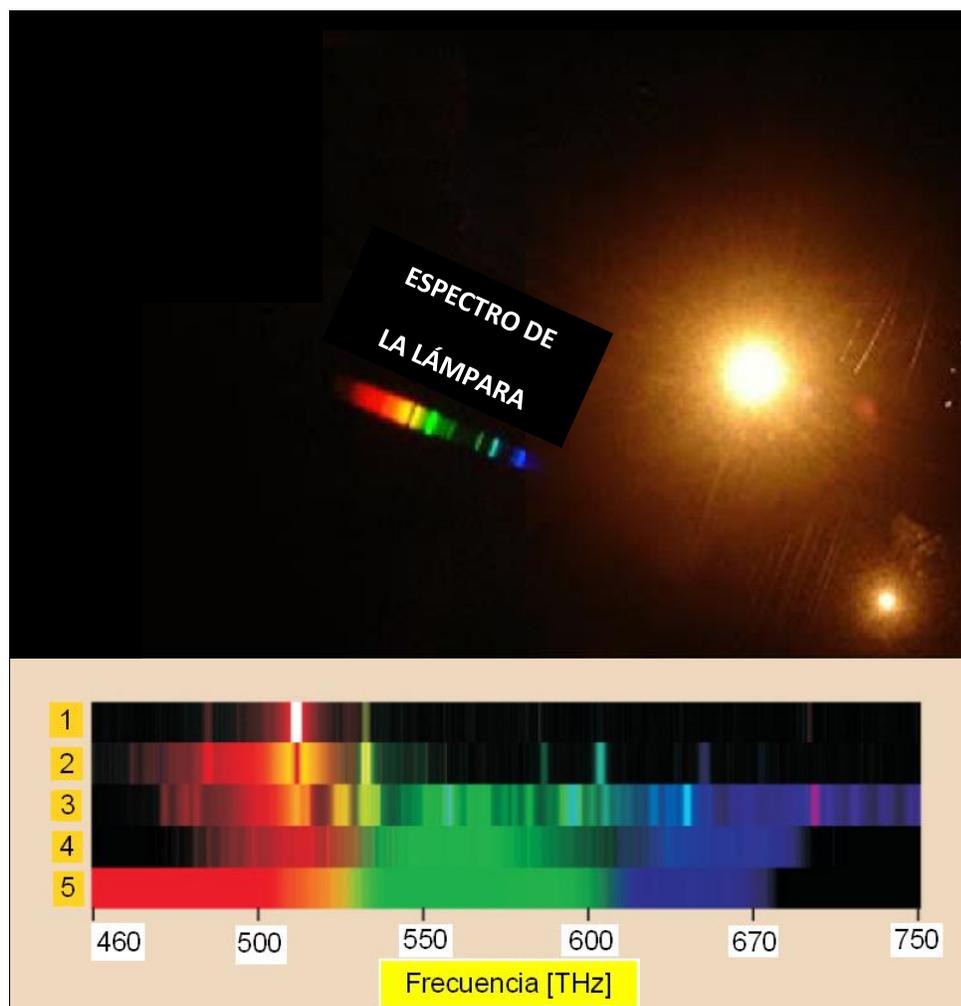


Figura 1. Arriba. Imagen del espectro de emisión de la “lámpara amarilla” del alumbrado público Abajo, Espectro de emisión de: sodio a baja presión **(1)**, sodio a alta presión **(2)**, mercurio con haluros metálicos **(3)**, seleniuro de zinc **(4)**, tungsteno **(5)**.

Figura 37. Imagen de la evaluación sumativa realizada durante la octava sesión.

2. ¿Qué material se encuentra dentro de la “lámpara amarilla” del alumbrado público?
3. Utilizando los colores realiza el diagrama de energía que corresponde a dicha lámpara del alumbrado público

Figura 38. Imagen de la evaluación sumativa realizada durante la octava sesión.

ANEXO 3 EJEMPLOS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

A3.0 Introducción

Enseguida se presentan algunos ejemplos de las respuestas de los alumnos ante cada evaluación: diagnóstica, formativa y sumativa.

A3.1 Evaluación Diagnóstica, SESIÓN 1

- **Pregunta 1.** ¿Dónde se aplican los principios de la mecánica cuántica?

La mecánica cuántica se aplica en las cosas pequeñas

“La mecánica cuánticas se aplica en las cosas pequeñas”

para medir energía, en la física, estudio de movimientos

“para medir energía, en la física, estudio de movimientos”

- **Pregunta 2.** ¿Qué es un sistema cuántico?

No se

“No se”

el método o la fórmula con lo que se hace

“el método o la fórmula con lo que se hace”

- **Pregunta 3.** *¿Qué sistemas cuánticos conoces?*

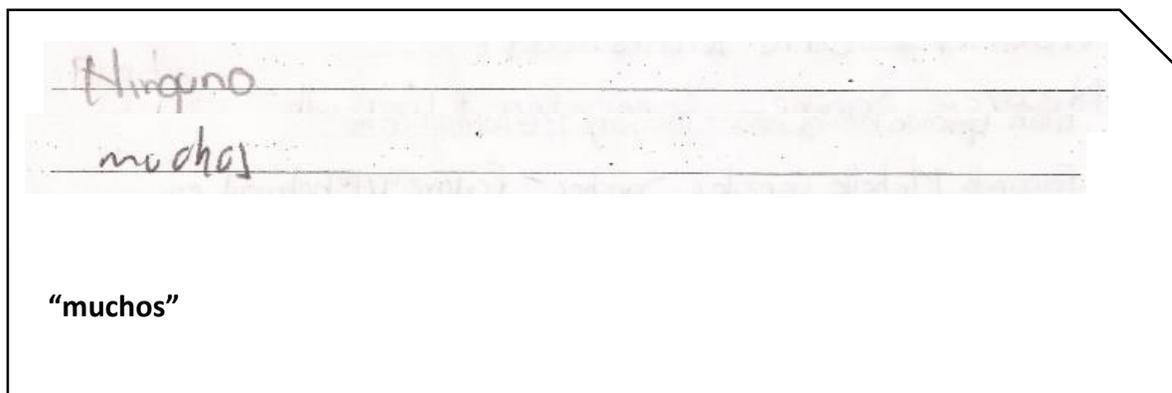


Figura 29. Ejemplos representativos de respuestas para la evaluación diagnóstica de la sesión 1.

A3.2 Evaluación Formativa, SESIÓN 2

- **Pregunta 1.** *¿Qué elementos consideras importantes para describir un sistema cuántico?*
- **Pregunta 2.** *Juan tira un dado y obtiene un 4. ¿En su siguiente tiro obtendrá nuevamente un cuatro? Justifica tu respuesta.*

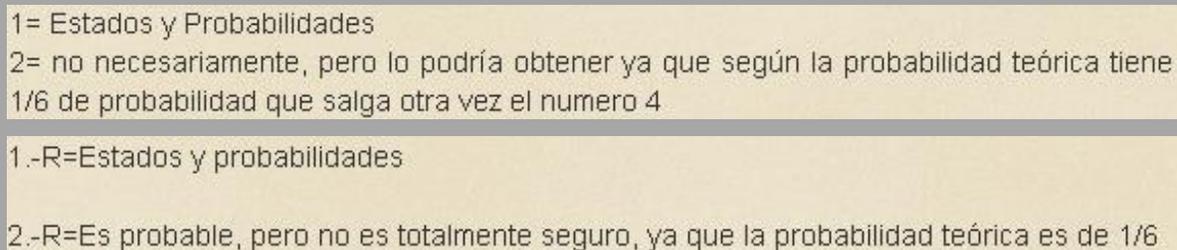


Figura 30. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 1 y 2 de la evaluación formativa de la sesión 2.

- **Pregunta 3.** Imagina que tienes un dado en forma de tetraedro (es decir un "triángulito boing") como el que se muestra en la figura 1. Si en cada esquina colocamos un número;
 - a) ¿Cuáles son los estados de este sistema cuántico?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad teórica asociada a cada estado?
 - c) ¿Cómo calcularías la probabilidad experimental asociada a cada estado?

3:
 a) $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$
 b) $1/4 = 0.25$
 c) Marcas en un tetraedro los cuatro estados, uno en cada cara luego lo tiras las veces necesarias para que la probabilidad experimental que resulta de tirar el tetraedro cada vez se acerque mas a la teorica

III.
 a) $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$
 b) $1/4$
 c) Se debe localizar los estados en la figura, posteriormente marcarlos para asi realizar un experimento en el que se lance el tetraedro alrededor de unas 180 veces, de esta forma se demostrara cual es la probabilidad teórica aprox.

3.
 a) $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$
 b) $1/4$
 c) a cada cara se le pone el estado, como son 4 estados lo mejor seria tirarlo 200 veces y asi poder sacar la probabilidad experimental

Figura 31. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 3 de la evaluación formativa de la sesión 2.

- **Pregunta 4.** Da un ejemplo de otro sistema cuántico, QUE NO SEAN DADOS Y MONEDAS, que hayas observado en tu vida cotidiana. Recuerda explicar brevemente porqué consideras que tu ejemplo es un sistema cuántico.

R4= Ruleta de casino; 37 números (contando el cero) y con el perfecto equilibrio en la posición en que están colocados sobre la rueda nos da una probabilidad teórica de $1/37$. :)

#4... El juego de "¿Dónde quedo la volita?", en el que los tres vasos serían los tres estados y tienes $1/3$ de probabilidad para encantarlo.

4.-R= Sistema cuántico: Pirinola; es un sistema cuántico por que tiene 6 estados y cada estado tiene una probabilidad de $1/6$

Figura 32. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 4 de la evaluación formativa de la sesión 2.

A3.3 Evaluación Sumativa, SESIONES 3 y 4

- **Pregunta 1.** *Escribe el VECTOR DE ESTADO del sistema cuántico que propusiste como ejemplo en la tarea anterior.*

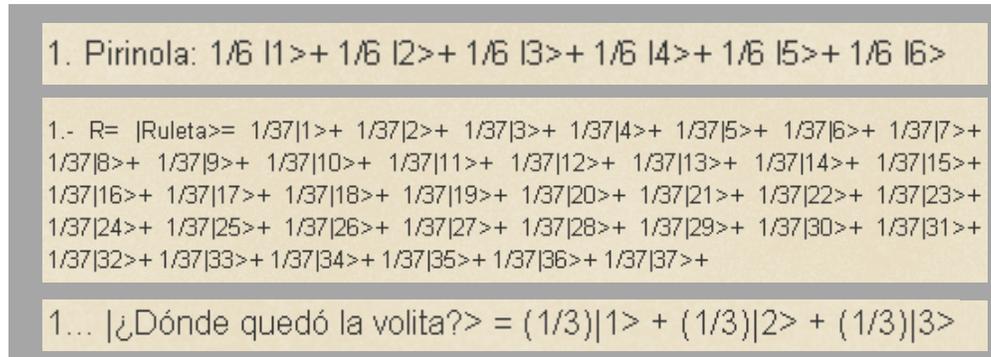


Figura 33. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 1 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

- **Pregunta 2.** *Identifica el cuanto que caracteriza a la luz de un láser. Recuerda justificar tu respuesta.*

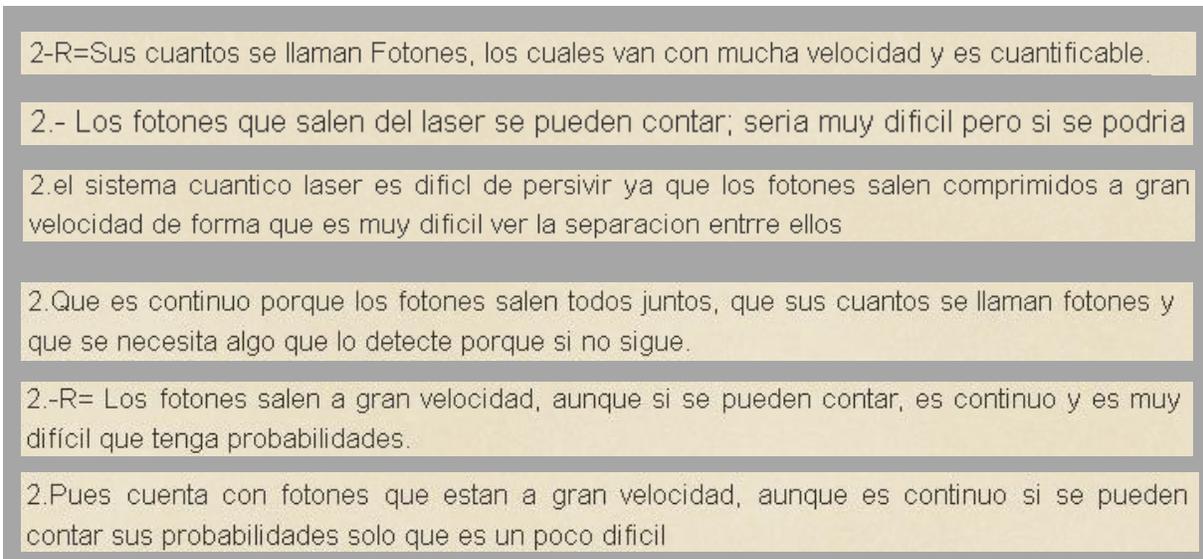


Figura 34. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 2 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

- **Pregunta 3.** Se hacen 1012 mediciones* para el sistema cuántico láser. La frecuencia del $|0\rangle$ es 823, la frecuencia del $|1\rangle$ es 166, la frecuencia del $|2\rangle$ es 22 y la frecuencia del $|3\rangle$ es 1.

a) Calcula la probabilidad experimental de cada estado.

b) Escribe el **vector de estado experimental** de este sistema cuántico.

*Estos datos experimentales son reales y fueron presentados en el 2008 en el LI Congreso Nacional de Física.

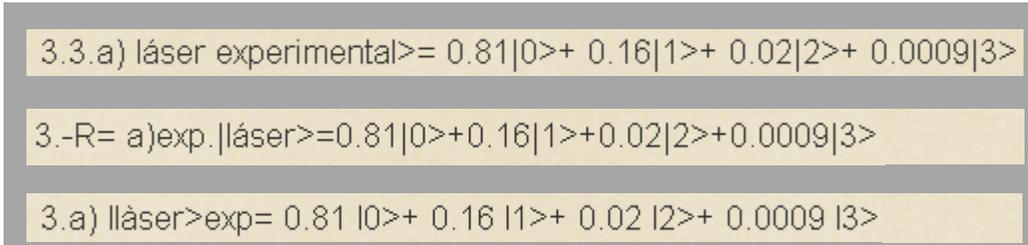


Figura 35. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 3 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

- **Pregunta 4.** Para la fuente de gotones el papel resultaba ser un detector adecuado ¿Qué propones utilizar como detector para el sistema cuántico láser?



Figura 36. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 4 de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

- **Pregunta 5.** Respondan nuevamente estas dos preguntas que hicimos al principio de este módulo de mecánica cuántica:

c) ¿Qué es un sistema cuántico?

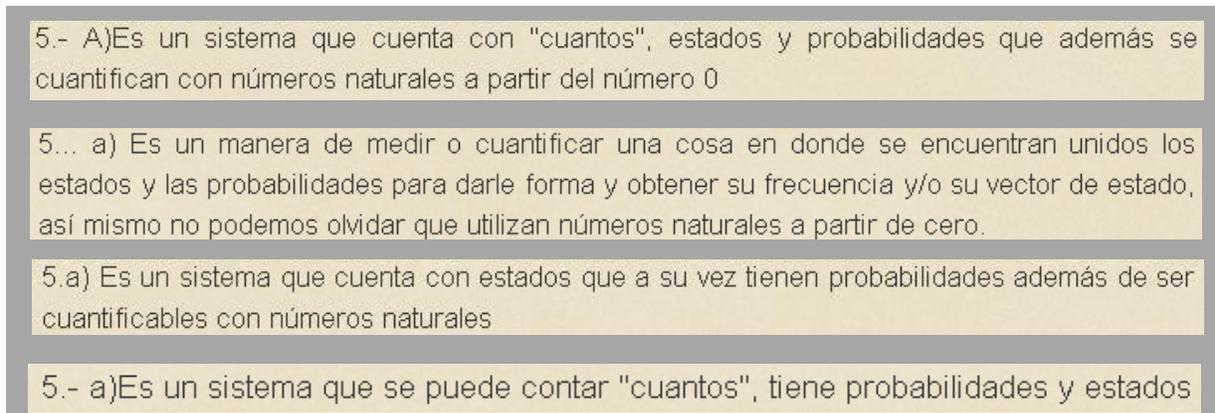


Figura 37. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 5a) de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

b) ¿Dónde se aplican los principios de la mecánica cuántica?

5... b) Se puede justificar en cosas cuantitativas donde contengan probabilidades y en la vida cotidiana lo podemos interpretar utilizando los juegos de azar.

5.- b) En la vida cotidiana (como el volado) , en las ciencias (física) y en cualquier cosas que tenga probabilidades y estados

B) en cualquier cosa o sistema donde tenga probabilidades y una forma cuantificable

b) para fabricar cualquier aparato eléctrico ya que se usa en la producción de dicho producto

5- b) en los chips de algunos aparatos electrónicos por ejemplo los teléfonos celulares

b) En la materia & energía, la luz, etc.

Figura 38. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 5b) de la evaluación sumativa de las sesiones 3 y 4.

A3.4 Evaluación Formativa, SESIÓN 5

LED	Colores Observados	Color Principal
Verde	Azul, verde, amarillo, naranja	Verde
Azul	morado, verde, amarillo, azul	Azul
Blanco	morado, verde, rojo, azul, amarillo, naranja	No tiene
Rojo	Azul, verde, amarillo, naranja, morado	Rojo

LED	Colores Observados	Color Principal
Rojo	Rojo, Naranja, Amarillo	Rojo
Blanco	Azul, Verde, Amarillo, Naranja, Rojo, Rosa, Morado (Todos)	Todos Todos
Verde	Azul, Verde, Amarillo, Rojo	Verde
Azul	Azul, Verde, morado	Azul

LED	Colores Observados	Color Principal
Rojo	amarillo, verde, azul, rojo, anaranjado, rojo	amarillo.
Verde	morado, azul, anaranjado, rojo, blanco, amarillo, rojo	blanco
Azul	amarillo, verde, anaranjado, morado, azul	verde.

LED	Colores Observados	Color Principal
Verde.	Azul, rojo y ya. ^{Verde} ↗	Amarillo.
Azul	Amarillo, morado, verde.	Azul.
Rojo	Amarillo, azul, ^{Rojo o} ↗ naranja	Morado

Figura 39. Ejemplos representativos de respuestas para la evaluación formativa de la sesión 5.

A3.5 Evaluación Sumativa, SESIÓN 6

- **Pregunta 1.** Ordena los siguientes LEDS del 1 al 4 dependiendo de la energía de su luz, coloca en primer lugar el de **MAYOR** energía y en último lugar el de **MENOR** energía.
- **Pregunta 2.** ¿Cómo determinaste cual luz tiene **MÁS** energía y cual luz tiene **MENOS** energía?

a)
1.-Led azul
2.-Led verde
3.- Led amarillo
4.- Led rojo
b)Esto es ,ya que entre mayor sea la frecuencia , mayor debe ser la energía para producir las ondas.

a) Leds de mayor a menos energía.
R= Azul
-Verde
-Amarillo
-Rojo
R= Por lo que es la frecuencia y la energía aumentan de manera proporcional osea que entre mas THz mayor sera la energía.

R2=Por la frecuencia de sus THZ entre mayor sea esa frecuencia mayor es la intensidad que emita de luz.

Figura 40. Ejemplos representativos de respuestas para las primeras dos preguntas de la evaluación sumativa de la sesión 6.

- **Pregunta 3.** Ubica una lámpara **AMARILLA** del alumbrado público cerca de tu casa, colócate debajo de ella con tu analizador de luz (CD). Si lo haces con calma observarás una serie de líneas de colores sobre el disco, este es el **ESPECTRO DE EMISIÓN** de la lámpara **AMARILLA** ¿Qué colores observaste para la lámpara **AMARILLA** del alumbrado público?
- **Pregunta 4.** Ahora ubica una lámpara **BLANCA-VERDOSA** ¿Qué colores tiene el espectro de emisión de la lámpara **BLANCA-VERDOSA** del alumbrado público?

3. Azul fuerte, naranja, una tonalidad de verde, rojo y amarillo

4.- Verde, azul, amarillo, algo de rosa, rojo y morado

3. Naranja, rojo, azul, verde y morado

R4.- Morado, rosa, y por momentos una luz blanca.

Figura 41. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 3 y 4 de evaluación sumativa, sesión 6.

A3.6 Evaluación Formativa, SESIÓN 7

- **Pregunta 1.** Completa los siguientes diagramas de energía dibujando el fotón que es liberado. Utiliza los colores: **ROJO**, **VERDE**, **AMARILLO** y **AZUL**
- **Pregunta 2.** ¿Cómo identificase el color del fotón que le correspondía a cada diagrama?

R.- Porque mientras + f el diagrama es más alto y hay + energía.

R.- Por la longitud que hay entre $|E_1\rangle$ y $|E_0\rangle$, entre mayor sea mayor energía.

R.- porque sabemos la duración de cada color

Figura 42. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 1 y 2 de la evaluación formativa de la sesión 7.

A3.7 Evaluación Sumativa, SESIÓN 8

- **Pregunta 1.** Señala cuál de los siguientes espectros le corresponde a la “lámpara amarilla” del alumbrado público
- **Pregunta 2.** ¿Qué material se encuentra dentro de la “lámpara amarilla” del alumbrado público?

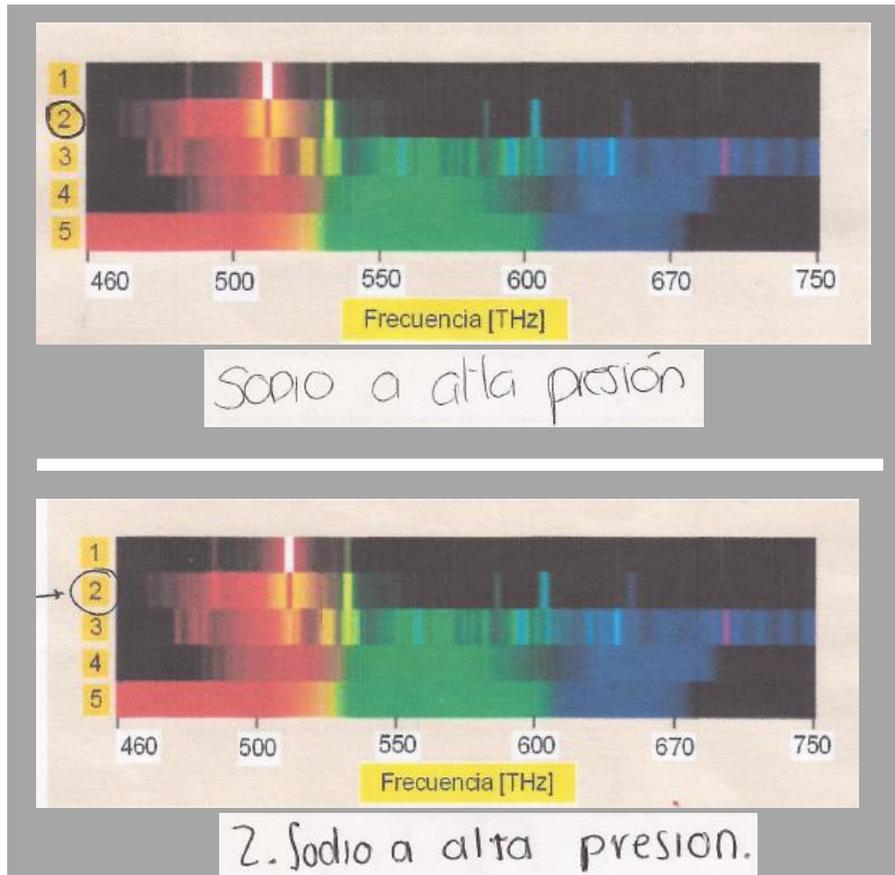


Figura 43. Ejemplos representativos de respuestas para las preguntas 1 y 2 de la evaluación sumativa de la sesión 8.

- **Pregunta 3.** Utilizando los colores realiza el diagrama de energía que corresponde a dicha lámpara del alumbrado público.

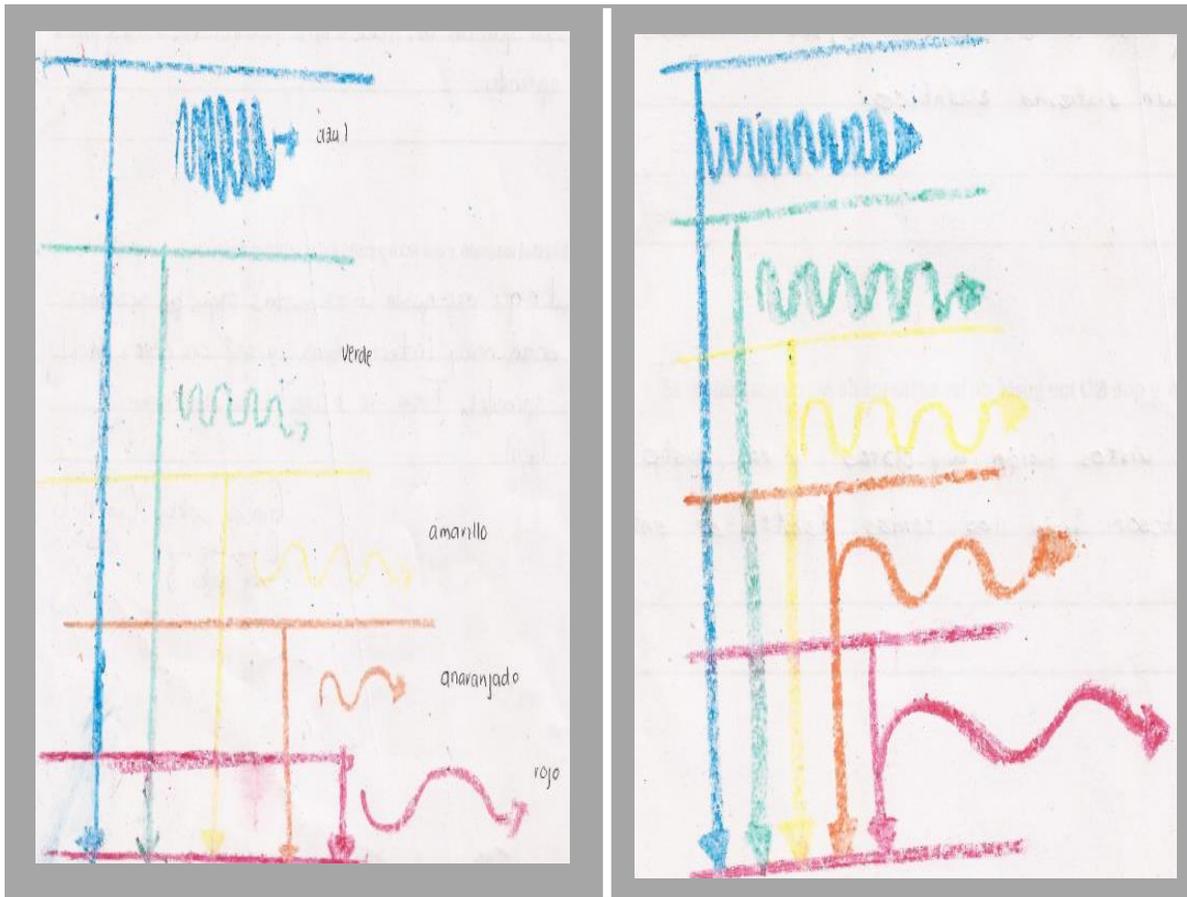


Figura 44. Ejemplos representativos de respuestas para la pregunta 3 de la evaluación sumativa de la sesión 8.

ANEXO 4

EL DETECTOR DE GOTONES, UNA ANALOGÍA PARA LA COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE FOTÓN

“(los niños) rompieron la bombilla encendida de una lámpara de la sala. Un chorro de luz dorada y fresca como el agua empezó a salir de la bombilla rota... sacaron el bote, y navegaron a placer por entre las islas de la casa.”

G. García Márquez (1978)

Para establecer un vínculo entre una teoría física y un determinado fenómeno natural es necesario recurrir a la actividad experimental, esta permite corroborar la validez de una teoría en función de su capacidad para describir y predecir un determinado fenómeno natural. Y ya que buena parte de la actividad experimental consiste en realizar mediciones, se tienen entonces que, para un físico medir es una actividad fundamental de su profesión. Por lo tanto, la elaboración e implementación de dispositivos que permiten efectuar una determinada medición está aunado a la profesión del físico.

Una vez que se ha entendido al físico como un profesional que necesita medir, es posible plantear la siguiente disyuntiva entre lo tecnológico y lo didáctico, para el diseño e implementación de dispositivos de medición. Un enfoque tecnológico pretendería desarrollar dispositivos que permitan lograr mediciones con mejores rangos de precisión, en cambio un enfoque didáctico busca desarrollar dispositivos de medición que conlleven a una mayor comprensión de un fenómeno físico o una teoría física. El contador de “gotones” es un dispositivo que pertenece al enfoque didáctico, ya que permite la aplicación del formalismo de la mecánica cuántica a un sistema cuántico sencillo. Este consiste en una fuente de gotas de agua. Para dicho sistema el cuanto (cantidad cuantizada) es bastante concreto ya que es una gota de agua, al cual denominamos con el nombre de “gotón”. Según Peña la distribución de probabilidad de la lluvia que proviene de las nubes es similar a la distribución probabilidad de los fotones que provienen de un láser (Peña, 2006). Es decir, mientras un láser “gotea” fotones una nube “gotea” gotones (gotas). Esta es la esencia que nos permite establecer una analogía entre los fotones y los gotones, así al estudiar el comportamiento de una fuente de gotones que es un sistema concreto y cercano

a nuestra vida cotidiana, generamos las condiciones necesarias para comprender un sistema mucho más abstracto como la luz de un láser. De esta forma, se parte de la comprensión del gotón para llegar a la comprensión del fotón.

Sobra decir que difícilmente podríamos llevar una nube al salón de clases, en realidad difícilmente podríamos llevar una nube a voluntad a cualquier parte. Sin embargo, construir una fuente de gotones es relativamente simple, una fuente de gotones se puede obtener con un recipiente con un pequeño orificio o simplemente utilizando una jeringa. Y para detectar los cuántos de este sistema puede utilizarse un dispositivo como el de la figura 45.

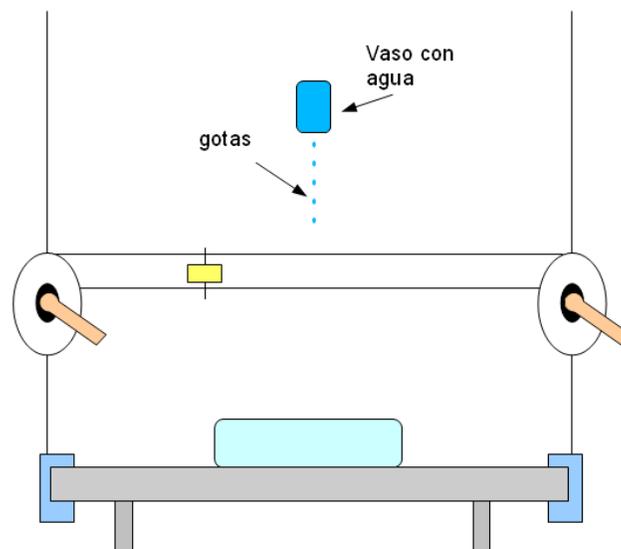


Figura 45. Se coloca la fuente de gotones sobre una banda de papel higiénico que se desplaza con una velocidad constante. Las gotas quedan registradas sobre el papel.

Para la fuente de gotones, un cuanto corresponde a una gota agua es decir a un "gotón", y los estados corresponden al número de gotas detectadas en cada uno de los segmentos de papel (ventanas de detección). Una vez que se tienen las marcas de las gotas sobre el papel, es posible identificar los kets correspondientes a cada uno de los estados detectados (figura 46).

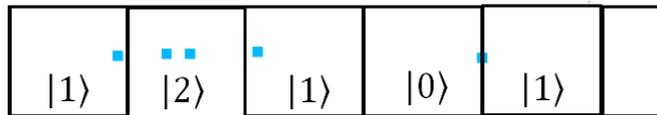


Figura 46. División de un tira de papel e identificación de los estados según el número de gotones. Cabe señalar que cuando una gota se encuentra sobre la división de dos segmentos se contabiliza únicamente en uno de ellos, como en el quinto segmento que se muestra en la figura.

En el caso de un láser se utiliza como detector un fotomultiplicador y un contador de fotones, que genera ventanas de tiempo del orden de microsegundos, realiza las mediciones (Martínez et al., 2008). En este sistema análogo (contador de gotones), en lugar del tubo fotomultiplicador se cuenta con papel higiénico, que tiene esencialmente la misma función ya que cuando un gotón incide se ve “amplificado” por los canales del papel lo cual facilita identificarlo (ver figura 46). Las para las mediciones, en lugar de ventanas temporales se utilizan ventanas espaciales, que en este caso son los cuadros de papel.

Al establecer una analogía entre el comportamiento de una fuente de gotas y una fuente de luz láser, se parte de una medición concreta (la detección de “gotones”) en un sistema cuántico concreto y sencillo (la fuente de gotones) para comprender un sistema cuántico más abstracto (la luz láser) en el cual la detección de cuantos (fotones) es tecnológicamente complicada.

ANEXO 5

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CONSTANTE DE PLANCK

A finales del siglo XIX al hacer experimentos con ondas electromagnéticas (luz) de longitud de onda conocida, Henrich Hertz observó lo siguiente:

- La emisión de electrones depende de cierta frecuencia umbral de la luz incidente a partir de la cual un metal iluminado comienza a emitir electrones.
- La magnitud de la corriente es proporcional a la intensidad de la fuente luminosa.
- La energía de los electrones emitidos (fotoelectrones) no depende de la intensidad de la fuente luminosa, pero varía linealmente con la frecuencia de la luz incidente (Serwey y Jewett, 2003).

Para explicar los anteriores fenómenos Einstein propuso en su trabajo de 1905 que la luz estaba compuesta por cuantos de energía (fotones), cuya energía estaba dada por:

$$E_{\text{fotón}} = h\nu \quad (1)$$

Con el objetivo de conocer las implicaciones de tal proposición supóngase que se hace incidir luz (monocromática) sobre un metal, y que un fotón de la luz es absorbido por el material teniendo como consecuencia la liberación de un electrón de conducción del metal. En tal caso por conservación de energía se tiene que:

$$E_0 = E_f \quad (2)$$

Donde la energía inicial (E_0) está dada por la suma de la energía del fotón ($E_{\text{fotón}}$) más la energía de ligadura que mantiene al electrón en el metal, dicha energía se denomina función de trabajo del metal (W) y es propia de cada material. Por otra parte, la energía final (E_f) consistirá en la energía cinética del electrón (K_e) que es liberado.

Así la ec(2) queda como:

$$E_{\text{fotón}} - W = K_e \quad (3)$$

Y al sustituir la ec.(1) en la ec.(3) se obtiene

$$h\nu - W = K_e \quad (4)$$

Experimentalmente resulta difícil medir la energía cinética del electrón (K_e), por ello se propone un circuito como el de la figura 47 mediante el cual se puede expresar dicha energía cinética en términos de una diferencia de potencial (la cual es fácil de medir en el laboratorio)

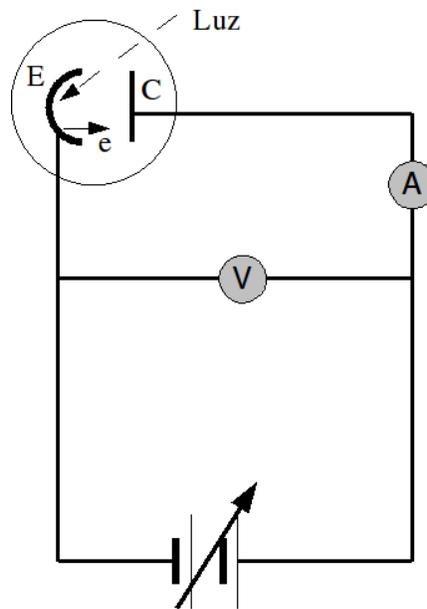


Figura 47. Circuito utilizado para medir la energía cinética del electrón (K_e) en términos de la diferencia de potencial que se aplica al circuito.

Si se aplica una diferencia de potencial negativa en el circuito, la ecuación de conservación de energía para un electrón que sale del emisor (E) y llega al colector (C) queda como:

$$K_e + U_1 = K_{\text{efinal}} + U_2 \quad \text{con } U_2 > U_1 \quad (5)$$

Y al despejar la energía cinética del electrón (K_e)

$$K_e = K_{efinal} + U_2 - U_1 \quad (6)$$

$$K_e = K_{efinal} + \Delta U \quad (7)$$

Donde $\Delta U = U_2 - U_1$ es una cantidad estrictamente positiva ($\Delta U > 0$) ya que la energía potencial de un electrón al salir de emisor (U_2) es mayor que su energía al llegar al colector (U_1), es decir $U_2 > U_1$.

Cuando la corriente entre el emisor y el receptor se interrumpe, condición que es equivalente a tener $K_{efinal} = 0$, se satisface que:

$$K_e = \Delta U \quad (8)$$

La ec(8) es congruente con el hecho de que la energía cinética del electrón es una cantidad estrictamente positiva dado que $\Delta U > 0$.

Y al expresar la diferencia de energía potencial (ΔU) como una diferencia de potencial por unidad de carga se tiene que:

$$\Delta U = qV_0 = -eV_0 \quad \text{con } V_0 < 0 \quad (9)$$

Cabe señalar que en la ec(9) se respeta el signo negativo de la carga del electrón. Y al sustituir la ecuación anterior en la ec(8) se obtiene:

$$K_e = -eV_0 \quad \text{con } V_0 < 0 \quad (10)$$

Y al sustituir en la expresión desarrollada en la ec(4)

$$h\nu - W = K_e \quad (4)$$

La igualdad para la energía cinética del electrones descrita en la ec(10)

$$h\nu - W = (-eV_0) \quad (11)$$

$$h\nu - W = e(-V_0) \quad (12)$$

Además, usando que $-V_0 = |V_0|$ se obtiene:

$$h\nu - W = e|V_0| \quad (13)$$

Por último, se puede obtener una expresión para el voltaje de frenado aplicado en el circuito de la figura 47:

$$|V_0| = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{W}{e} \quad (14)$$

La ec(14) expresa el valor absoluto del voltaje de frenado ($|V_0|$) como una función lineal de la frecuencia de la luz incidente (ν), así a partir de la pendiente de la recta y de la ordenada al origen es posible calcular la constante de Planck (h) y la función de trabajo (W) respectivamente, una vez que se supone conocida la carga del electrón (e), ver figura 48.

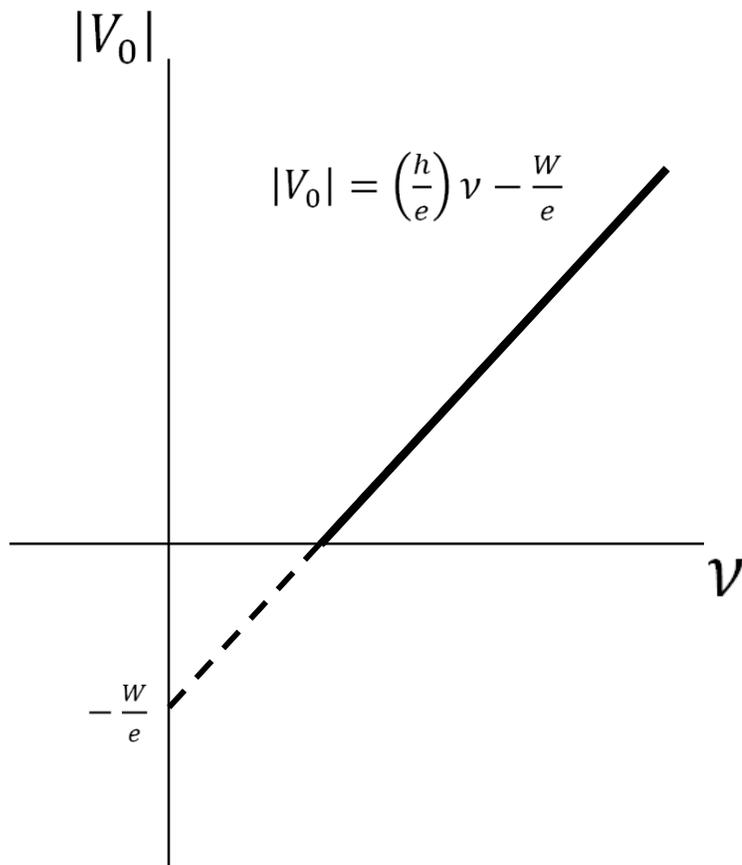


Figura 48. Valor absoluto del potencial de frenado ($|V_0|$) como función lineal de la frecuencia de la luz incidente (ν). La extensión de recta (línea punteada) permite determinar el valor de la función de trabajo una vez que se supone conocida la carga del electrón.

Como se muestra en la ec(1) la constante de Planck (h) tiene un papel particularmente importante en la cuantización de la luz y es una de las mayores contribuciones que Einstein realizó a principios del siglo pasado. Para recuperar este importante resultado y determinar explícitamente el valor de esta constante (h) se utilizó con alumnos de primer semestre universitario, inscritos en la licenciatura en física impartida en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México (UNAM), el siguiente dispositivo experimental (ver figura 49).

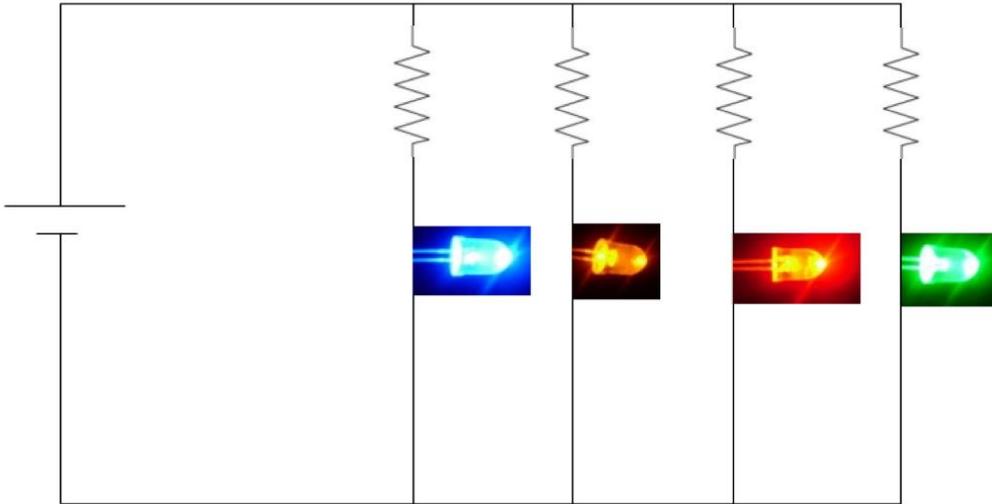


Figura 49. Dispositivo experimental para determinar la constante de Planck.

De acuerdo a la ec(14) la relación lineal entre el voltaje de frenado ($|V_0|$), la frecuencia (ν) y la función de trabajo (W) está dada por:

$$|V_0| = \left(\frac{h}{e}\right) \nu - \frac{W}{e} \quad (14)$$

La ventaja de utilizar los leds como fuentes de luz es que en la literatura se puede obtener la frecuencia promedio en la que emiten y su función de trabajo es despreciable (Ramos, 2011), es decir $W \approx 0$ por lo tanto la ec(14) queda como:

$$|V_0| = \left(\frac{h}{e}\right) \nu \quad (15)$$

Por lo tanto, es posible expresar la constante de Planck (h) de la siguiente forma:

$$h = \frac{e|V_0|}{\nu} \quad (16)$$

Al sustituir el voltaje de frenado y su respectiva frecuencia promedio, en la ec(16) es posible obtener experimentalmente el valor de la constante de Planck.

ANEXO 6. CARTELES



DIOS NO JUEGA A LOS DADOS...PERO NOSOTROS SÍ

M. Cuauhtli Martínez Guerrero^a

^a MADEMS, Facultad de Ciencias, UNAM



RESUMEN

El formalismo de la mecánica cuántica permite la descripción de sistemas con niveles discretos, es decir, estados cuantizados. La información de esta descripción está contenida en el vector de estado del sistema, este es la combinación lineal de los estados accesibles (permitidos) y sus respectivas probabilidades. En este trabajo se presenta la reconstrucción de vectores de estado para algunos sistemas cuantizados; el sistema dado de seis caras y moneda ("dado de dos caras"). Así, mediante sistemas cuánticos familiares se introduce a los alumnos al formalismo característico de la mecánica cuántica siguiendo la notación propuesta por Dirac.

La Mecánica Cuántica

Contrario a lo que suele pensarse la mecánica cuántica no está restringida únicamente a fenómenos de índole microscópico (átomos, electrones, moléculas, etc.), este formalismo es válido para todos los sistemas cuánticos, tanto macroscópicos como microscópicos. Todos los sistemas cuánticos comparten dos propiedades fundamentales:

- 1.- Son sistemas con **estados accesibles contabilizables** mediante números naturales.
- 2.- Cada estado accesible tiene una **probabilidad asociada**. Esta probabilidad puede determinarse de manera teórica o puede calcularse experimentalmente.

De manera similar a cuando subimos por una escalera a través de pasos completos y no por medio de fracciones de escalones, la primera característica de los sistemas cuánticos restringe el campo donde estos se desenvuelven. Es decir, un sistema cuántico solo puede "desplazarse" entre escalones pre-establecidos a los cuales se les denomina "estado accesibles". Por otra parte, la segunda característica dota a la mecánica cuántica de un carácter intrínsecamente probabilístico. Esto ha generado una gran cantidad de controversias a lo largo de los años, pues la falta de certeza absoluta constituye un cambio de paradigma en la física, que hasta antes de la mecánica cuántica se caracterizaba por descripciones totalmente deterministas. Incluso personalidades como el premio Nobel Albert Einstein (1921) se resistieron a la mecánica cuántica, ya que consideraba que su carácter probabilístico se originaba en la falta de completitud de dicha teoría. Lo anterior queda registrado en su famosa frase; "Dios no juega a los dados" alusiva al carácter probabilístico de la mecánica cuántica. Sin embargo, debido a la precisión de sus resultados y predicciones la mecánica cuántica hoy en día es considerada como una de las teorías más exitosas que se han desarrollado en el campo de la física.

La notación de Dirac

Esta notación permite expresar los estados accesibles de un sistema cuántico mediante vectores denominados "kets" (ver figura 1). Su inventor fue el físico británico Paul Dirac, premio Nobel de física en 1933. La principal ventaja de esta notación es que fácilmente permite vincular los dos elementos más importantes de un sistema cuántico; los estados accesibles y la probabilidad asociada a cada estado (P). Para construir la descripción más general que se puede tener de un sistema cuántico, esto es: el **vector de estado** $|\Psi\rangle = P_1|\Psi_1\rangle + P_2|\Psi_2\rangle + P_3|\Psi_3\rangle + \dots$ (ver figura 2).

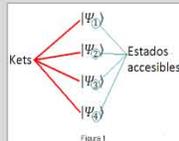


Figura 1

El sistema cuántico de dos estados. Un sistema de "bolsillo".

Usualmente el primer sistema cuántico de dos niveles que se presenta es el Spin del electrón, sin embargo dicho sistema es demasiado abstracto ¿Quién ha observado en su vida cotidiana este sistema? Debido a esta situación nos propusimos identificar un sistema cuántico de dos niveles que fuese lo suficientemente didáctico como para introducir a los alumnos de bachillerato al formalismo de la mecánica cuántica. Dicho sistema lo encontramos en un sitio inesperado; el bolsillo de cada estudiante... De esta forma el sistema cuántico de dos estados que proponemos es la moneda (Fig.3)



Figura 3

En la siguiente tabla se identifican los estados accesibles y las probabilidades teóricas asociadas a cada estado.

ESTADOS	KETS	PROBABILIDAD TEÓRICA
Sol	$ S\rangle$	$\frac{1}{2}$
Águila	$ A\rangle$	$\frac{1}{2}$

Para este sistema un experimento consiste en tirar una moneda y medir (observar) si cae águila o sol. Entonces, haciendo 20 experimentos se determinó la probabilidad experimental asociada a cada estado (tabla 2), utilizando la definición de probabilidad frecuencial.

ESTADOS	KETS	PROBABILIDAD EXPERIMENTAL
Sol	$ S\rangle$	0.55
Águila	$ A\rangle$	0.45

$$P_{exp} = \frac{\text{frecuencia de evento}}{\text{experimentos totales}}$$

Con esta información se reconstruyen el vector de estado teórico y el vector de estado experimental que corresponden a un sistema cuántico de dos estados (moneda), ver figura 4.

$$|\Psi_{teo}\rangle = \frac{1}{2}|S\rangle + \frac{1}{2}|A\rangle$$

$$|\Psi_{exp}\rangle = 0.55|S\rangle + 0.45|A\rangle$$

Figura 4

El sistema cuántico de seis estados.

Para una primera generalización de los elementos desarrollados con el sistema de dos estados, se utilizó un sistema de seis estados que le resulta familiar al alumno, este fue: el dado (Fig.5). En la tabla 3 se identifican los estados accesibles para este sistema y sus respectivas probabilidades teóricas. Además realizando 60 experimentos se obtuvieron las correspondientes probabilidades experimentales.

ESTADOS	KETS	PROBABILIDAD TEÓRICA	PROBABILIDAD EXPERIMENTAL
.	$ 1\rangle$	$\frac{1}{6} \approx 0.166$	0.183
:	$ 2\rangle$	$\frac{1}{6}$	0.183
∴	$ 3\rangle$	$\frac{1}{6}$	0.133
∴∴	$ 4\rangle$	$\frac{1}{6}$	0.217
∴∴∴	$ 5\rangle$	$\frac{1}{6}$	0.083
∴∴∴∴	$ 6\rangle$	$\frac{1}{6}$	0.200



Figura 5. Sistema de seis estados.

Con esta información nuevamente los alumnos reconstruyen los vectores de estado teórico y experimental correspondientes a este sistema cuántico (Fig. 6)

$$|\Psi_{teo}\rangle = \frac{1}{6}|1\rangle + \frac{1}{6}|2\rangle + \frac{1}{6}|3\rangle + \frac{1}{6}|4\rangle + \frac{1}{6}|5\rangle + \frac{1}{6}|6\rangle$$

$$|\Psi_{exp}\rangle = (0.183)|1\rangle + (0.183)|2\rangle + (0.133)|3\rangle + (0.217)|4\rangle + (0.083)|5\rangle + (0.200)|6\rangle$$

Figura 6

Más allá de Newton...

Cuando el alumno reconstruye vectores de estado (teóricos y experimentales) de sistemas cuánticos con los que está familiarizado, él tiene un contacto directo con un formalismo diferente al de la mecánica Newtoniana, es decir, aprende los fundamentos del formalismo de la mecánica cuántica. Aprende a identificar los elementos principales que constituyen a un sistema cuántico (estados accesibles y probabilidad asociada) y aprende a reconocer algunos otros sistemas cuánticos en su vida cotidiana, cambiando de esta manera la forma como percibe los diferentes fenómenos físicos.

"Una vez que hemos mordido la manzana cuántica nuestra inocencia se ha perdido para siempre"

R. Shankar.



CONTACTO: cuauhtli_86@hotmail.com
fiscocuahtli.blogspot.mx

Figura 50. Cartel presentado en el 2º Congreso de alumnos de posgrado (2012), UNAM.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es que los alumnos del nivel medio superior identifiquen la relación que existe entre la energía de un fotón y su frecuencia, y además puedan construir un modelo atómico constituido por niveles de energía. Dicho modelo se caracteriza por transiciones electrónicas entre sus niveles, y por lo tanto a su vez esta caracterizado por la emisión de fotones con determinadas frecuencias. Para lograr dicho objetivo, se generó una secuencia didáctica dividida en cuatro sesiones; 1. Un analizador cualitativo de espectros, 2. La energía de los fotones, 3. El átomo de dos niveles y 4. Átomos de múltiples niveles.

Introducción

A mediados del siglo XIX los químicos observaron que cuando se proporciona energía a un elemento este emite luz en un espectro específico que es característico del elemento en cuestión. Para dicho análisis espectral utilizaron instrumentos que les permitían descomponer la luz en sus respectivas frecuencias, y así para lograr identificarlas. Dichos instrumentos, denominados espectroscopios, utilizan en principio un prisma o una rejilla de difracción para descomponer la luz (Ramos, 2011). Explicar a que se debe el espectro en que emiten los diferentes elementos ha sido uno de los éxitos de la mecánica cuántica, y este vínculo entre los fundamentos teóricos y las observaciones experimentales, hechas por los espectroscopistas, ha contribuido a consolidar a la mecánica cuántica como una teoría sólida.

Las siguiente secuencia didáctica dividida en cuatro sesiones; 1. Un analizador cualitativo de espectros, 2. La energía de los fotones, 3. El átomo de dos niveles y 4. Átomos de múltiples niveles, constituye un camino a seguir para que los alumnos del nivel medio superior desarrollen los fundamentos teóricos y técnicos que les permitan hacer un análisis espectroscópico cualitativo. Es decir, al final de la secuencia didáctica los estudiantes se convierten en espectroscopistas cualitativos.

1.- Un analizador cualitativo de espectros

En la primera sesión, utilizando una rejilla de difracción de su vida cotidiana (ver figura 1), los alumnos identifican los colores que conforman el espectro de emisión de los leds: blanco, rojo, azul, verde, amarillo y naranja. Además identifican el color principal que emite cada led.



Figura 1

2.- La energía de los fotones

En la segunda sesión, utilizando una analogía entre las ondas mecánicas en un medio elástico (figura 2) y las ondas electromagnéticas (figura 3), los alumnos establecen una relación de proporcionalidad directa entre la frecuencia de los fotones y su energía.

$$E \propto \nu \rightarrow E = h\nu$$



Figura 2

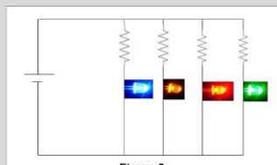


Figura 3

3.- El átomo de dos niveles

En la tercer sesión los alumnos trabajan con el modelo del átomo de dos niveles (figura 4). Además establecen la relación entre los niveles de energía y los fotones emitidos debido a las transiciones electrónicas. Es decir, elaboran diagramas de energía.

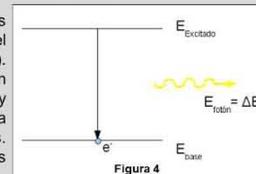


Figura 4

Y para fortalecer la relación entre la energía y la frecuencia, los alumnos que ordenan los Light Stick (solución de fenil oxalato ester y peróxido de hidrógeno) ver figura 5, y sus paletas luminosas (figura 6) de acuerdo a la energía de los fotones que emiten, colocando a la izquierda la fuente que emite los fotones menos energéticos y a la derecha la fuente que emite los fotones más energéticos

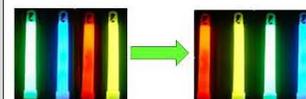


Figura 5



Figura 6

4.- Átomos de múltiples niveles

El objetivo de la última sesión es que los alumnos reconozcan al átomo como un sistema de múltiples niveles. Y que identifiquen fuentes luminosas de su vida cotidiana (ver figura 7) a partir de sus espectros de emisión (ver figura 8).

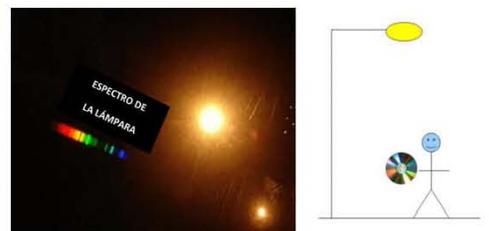


Figura 7

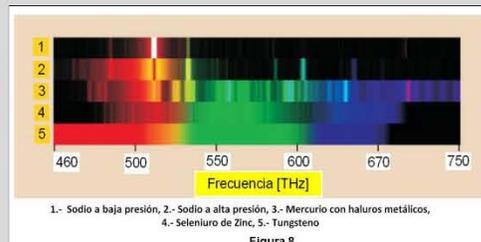


Figura 8



¿QUÉ TAN CUÁNTICA ES UNA FUENTE COHERENTE?

M.A. Bastarrachea, M.C. Martínez, N. Ramírez, V.M. Velázquez



Laboratorio de Óptica Cuántica, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Se obtuvo experimentalmente la estadística para un estado coherente (láser de He-Ne de 543nm) con un número promedio de fotones cercano a cero y a uno, y se comparó la distribución experimental con la teórica. Mediante el criterio de la función de Wigner se estableció si el estado coherente corresponde a un estado cuántico o a un estado clásico. Aún más, se determinaron los coeficientes de la matriz de densidad midiendo los parámetros de Stokes, determinándose así el estado de polarización del láser.

ESTADÍSTICA DE UNA FUENTE COHERENTE

Los estados coherentes, son aquellos que satisfacen la relación: donde α es un número complejo.

$$\hat{a}|\alpha\rangle = \alpha|\alpha\rangle$$

Es decir, son los eigen-estados del operador de aniquilación. Y dado que la base de los estados de número es completa, se puede expresar a los estados coherentes como una superposición de estados en la base de número (base de Fock):

$$|\alpha\rangle = \sum_{n=0}^{\infty} c_n |n\rangle \quad \text{donde} \quad c_n = e^{-\frac{|\alpha|^2}{2}} \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}}$$

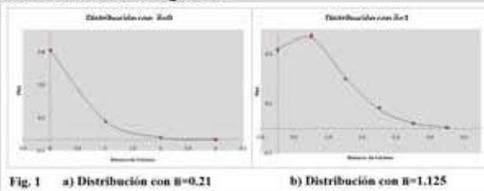
Los estados coherentes son el equivalente cuántico de una onda electromagnética monocromática clásica. De la expresión anterior podemos obtener la probabilidad de tener n fotones en el estado coherente, y de su definición el número promedio de fotones en el campo a través del valor esperado del estado de número.

$$P_n = |c_n|^2 = e^{-|\alpha|^2} \frac{|\alpha|^{2n}}{n!} \quad \langle \hat{n} \rangle = |\alpha|^2 = \bar{n}$$

Obteniéndose que el comportamiento es similar al de una distribución de Poisson con parámetro el número promedio de fotones.

En este trabajo se calcularon las distribuciones para el estado coherente con $\bar{n} \approx 0$ y $\bar{n} \approx 1$, a través del conteo de fotones. Se realizaron 1012 cuentas con un número promedio de fotones $\bar{n} = 0.21$ y se tomaron 1022 cuentas obteniéndose un número promedio de fotones $\bar{n} = 1.125$.

La comparación entre las gráficas teóricas y experimentales para ambos casos se muestran en la figura 1.



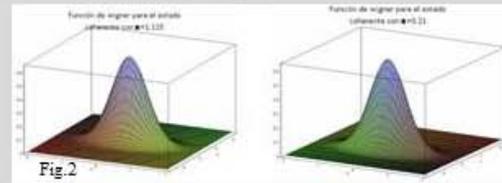
Y en la representación de los estados de número, los estados coherentes medidos quedan como:

$$|\alpha_0\rangle = \sqrt{0.813} |0\rangle + \sqrt{0.164} |1\rangle + \sqrt{0.022} |2\rangle + \sqrt{0.001} |3\rangle$$
$$|\alpha_1\rangle = \sqrt{0.317} |0\rangle + \sqrt{0.375} |1\rangle + \sqrt{0.201} |2\rangle + \sqrt{0.084} |3\rangle + \sqrt{0.021} |4\rangle + \sqrt{0.003} |5\rangle$$

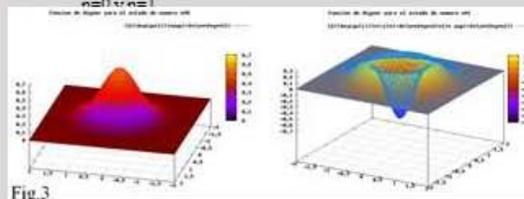
FUNCIÓN DE WIGNER

Un parámetro que determina si un estado es cuántico o clásico es la función de Wigner. Si la función de Wigner toma únicamente valores positivos se tiene que el estado es clásico, mientras que si toma valores negativos entonces el estado es cuántico. Dado que dicha función puede tomar tanto valores positivos como negativos es conocida como una función de quasi-probabilidad.

Las funciones de Wigner correspondientes a los estados coherentes con $\bar{n} = 1.125$ y $\bar{n} = 0.21$ son:



A su vez, se calculó la función de Wigner para los estados de número $n=0$ y $n=1$.



PARÁMETROS DE STOKES

Utilizando los parámetros de Stokes, se puede determinar la naturaleza de la polarización del láser, usando la siguiente relación:

$$\beta = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^3 \frac{S_i}{S_0} \hat{\sigma}_i$$

El dispositivo por medio del cual se efectuó la medición de cada uno de los parámetros de Stokes se muestra en la figura 4.



Obteniéndose la matriz de densidad:

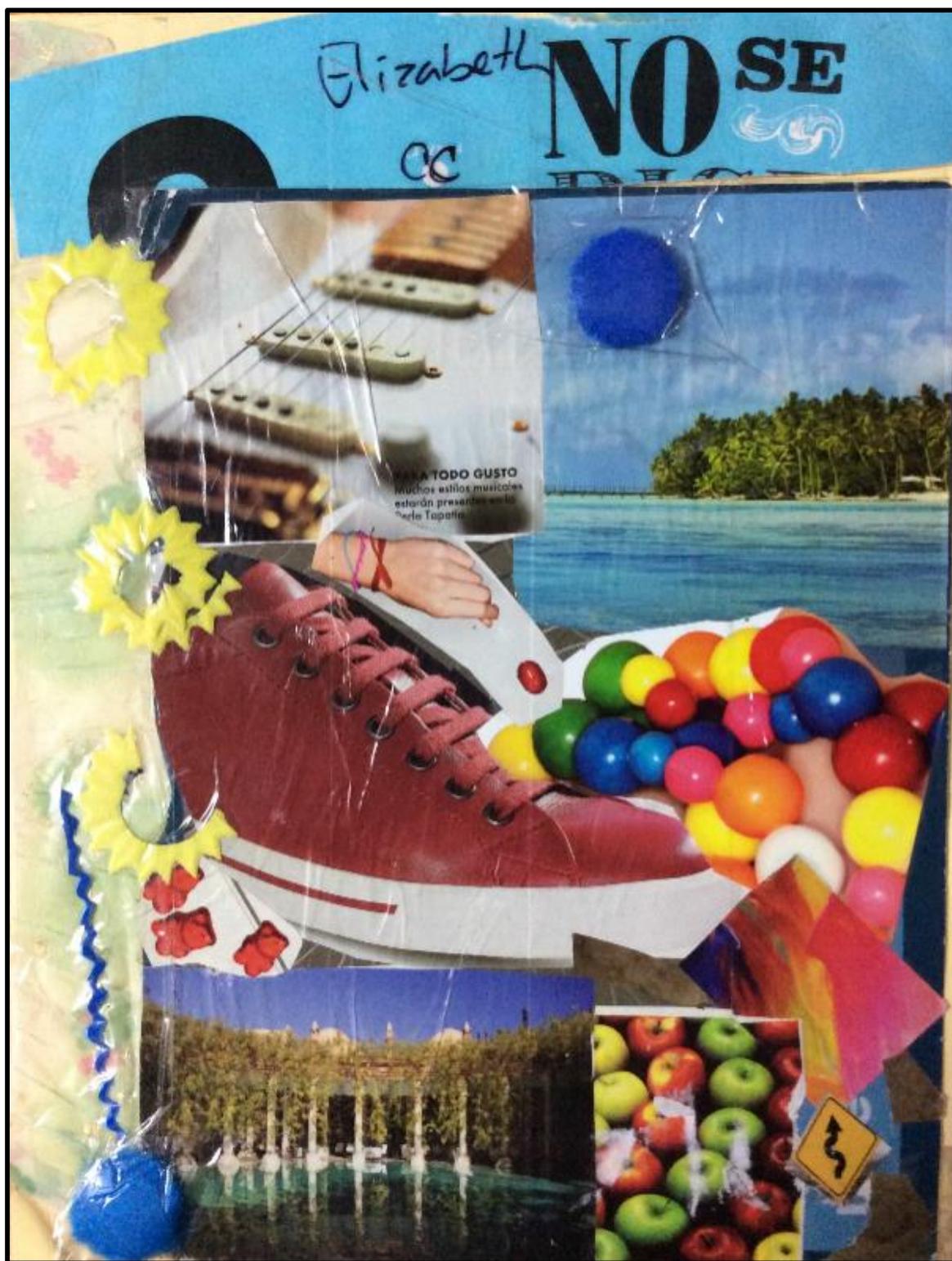
$$\rho = \begin{pmatrix} 0.78948 & 0.03948 - i0.30263 \\ 0.03948 + i0.30263 & 0.210525 \end{pmatrix}$$

CONCLUSIONES

Tras analizar la estadística de la fuente coherente vemos que con un láser no se puede obtener una fuente puntual aún cuando se atenúe, ya que no es posible evitar que se presenten estados con más de un fotón dada la distribución poissoniana encontrada. Además, por medio del criterio de la función de Wigner se determinó que los estados coherentes son estados clásicos.

Figura 52. Cartel presentado en el LI Congreso Nacional de Física (México).

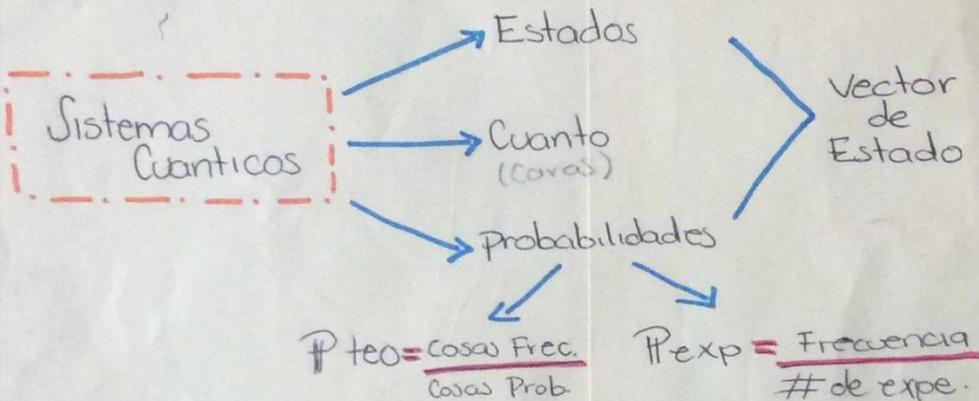
ANEXO 7. PORTAFOLIOS DE EVIDENCIAS



FISICA CUANTICA

Uriel Jessy Lili

Kets \rightarrow 117, 127, 137, 147, 157, 167 (Dado)



$T = 10^{12} \rightarrow$ TERA
 $Hz = \frac{1 \text{ ciclo}}{1 \text{ segundo}}$

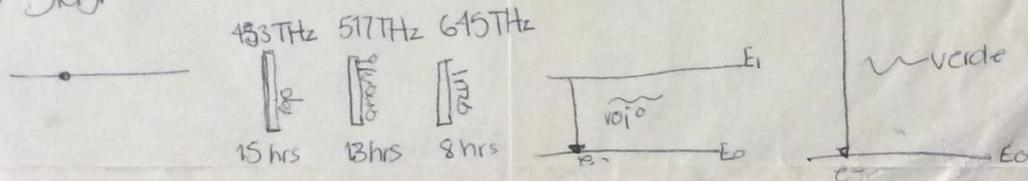
ANALISIS DE LA LUZ

DIFRACCION (se encuentra con un pequeño objeto que es compatible con la luz).

Cd \rightarrow analizador de la luz

Led \rightarrow es casi monocromático (su color no depende de la carcasa del material).
 Energía - Frecuencia (proporcional a $\frac{1}{\lambda}$ la frecuencia) $E \propto f$ $E = hf$

Diagramas de Energía





Marita, Katyecita, Lalita, Brandoncito 6

Hz
 $T_2 = 10^{12}$
 Tefo

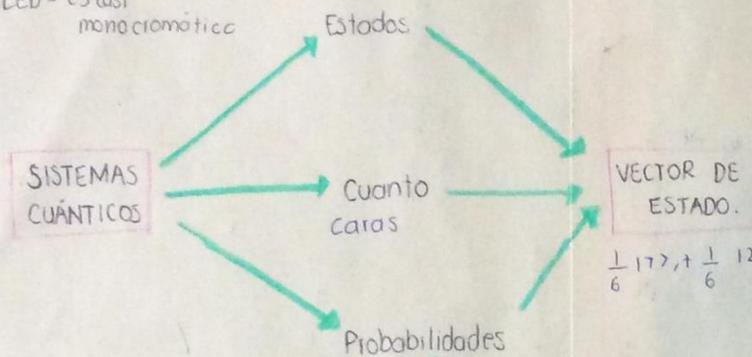
www.grup404.blogspot.com
 cuahuhtli_86@hotmail.com

$E \propto f \rightarrow$ frecuencia
 energía \leftarrow Proporcional

CD - analizador de luz
 LED - es casi monocromática
 Kets \rightarrow 117, 127, 137, 147, 157, 167

Relación Energía-Frecuencia

$E = hf$
 $h = ?$
 constante planck



$\frac{1}{6} |17\rangle + \frac{1}{6} |127\rangle + \frac{1}{6} |137\rangle$

$P^{teo} = \frac{1}{6}$
 $P^{teo} = \frac{\text{casos favorables}}{\text{casos posibles}}$

$P^{exp} = \frac{\text{frecuencia}}{\# \text{ exp.}}$

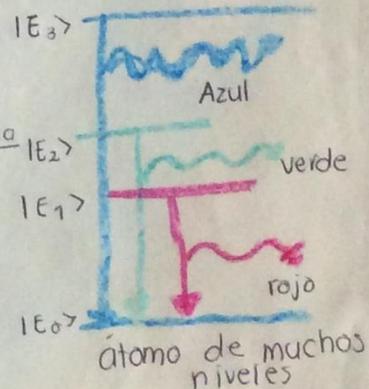
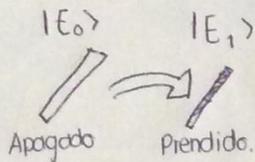
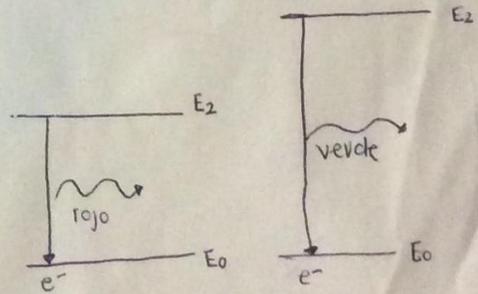
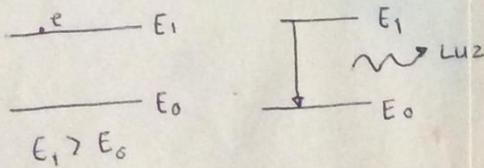


DIAGRAMA DE ENERGÍA



522 THz 453 THz 645 THz

2. 3. 1.
 amarillo rojo azul
 13hrs 15hr 8hr
 = - +

