



Facultad de Química



TESIS

para la obtención del título de
Maestría en Enseñanza de la Química

**Metodología para el aprendizaje de
Física Moderna para Educación
Secundaria con Química**

Maestrando: José Luis Di Laccio

Director Académico: Dr. Álvaro Mombrú

Directores de Tesis: Dr. Salvador Gil y Mag. Alice Zunini

Hoja en blanco

Índice

Índice	3
Dedicatoria.....	5
Agradecimientos.....	5
Resumen	7
Capítulo 1.Introducción	9
Justificación y pertinencia.....	11
Definición del problema	25
Preguntas de investigación.....	26
Objetivos generales	26
Objetivos específicos.....	26
Supuestos.....	28
Capítulo 2.Marco Teórico.....	29
Una síntesis de la visión de Salvador Gil	31
Aulas-Laboratorios de Bajo Costo con TIC	36
Aulas Laboratorios de Bajo Costo con TIC: el smartphone.....	39
¿En qué potencia el smartphone al laboratorio de bajo costo?	43
La cámara termográfica: accesorio para el smartphone	45
Aportes que influyen el pensamiento de Salvador Gil.....	47
Arnold Arons.....	47
Lillian McDermott.....	49
Arons, McDermott y Gil	53
Aula invertida	54
Votadores Digitales	55
Capítulo 3.Metodología	58
Método y Técnicas.....	59
Análisis documental.....	59
Encuestas a informantes claves.....	64
Elaboración de mini proyectos experimentales usando el concepto de laboratorio de bajo costo	65
Piloteo de algunos de los ejemplos concretos de enseñanza en 3 ^{ero} de bachillerato..	67
Cap. 4 Resultados y discusiones.....	71
Análisis documental.....	71
Encuestas	86
Elaboración de guías usando el concepto de laboratorio de bajo costo.....	88
Nociones de física moderna a través de preguntas	89
¿Qué es el decaimiento radiactivo? ¿Cómo puede ser explicado?.....	90
¿Qué cosa es un espectro de un elemento químico?	92
¿Cómo funciona la cámara termográfica?.....	95
¿A qué distancia encontramos las galaxias?	98
¿Las galaxias se alejan de nosotros?	102
¿Cuál es la edad del universo?	107
Intervención en 3 ^{ero} de bachillerato de opciones: ingeniería y medicina.....	112
Supuestos y hallazgos.....	117
Cap. 5 Conclusiones	120

Referencias	124
Anexos	132
Anexo 1: Encuesta informantes claves	132
Anexo 2: Propuesta de intervención	134
Anexo 3: Libros de texto	135
Anexo 4: Unidades del Química General II de profesorado de Química	138

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis hijas Antonella y Fernanda quienes junto a mi esposa Gisela han sido mi motor, motivación y sostén para desarrollarla.

A mis padres y mi hermana, Elvides, Selva y Ely por siempre estar presentes y tener una palabra de aliento en los momentos más difíciles.

A la memoria de mis queridos abuelos: Juan José, Haydee, Elvides y Elisa que me enseñaron a ser agradecido, constante, soñador, a creer en el esfuerzo y no bajar nunca los brazos.

A mis queridos profesores: Salvador Gil, Álvaro Mombrú, Alice Zunini, Ricardo Faccio, Helena Pardo y a todo su maravilloso equipo de trabajo que siempre han sido generosos con su saber y calidez de persona.

José Luis Di Laccio

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis compañeros de trabajo de los departamentos de Física y de Química del Ce.R.P del Litoral, del departamento de Física del CENUR Litoral Norte, del Ciclo Inicial Optativo Científico Tecnológico (CIO-CT) y a mis estudiantes. Con todos ellos en algún momento he discutido muchas de las ideas que aquí se desarrollan.

Son muchos los colegas que de una u otra forma me han ayudado en la elaboración del trabajo de tesis, con pena por si omito involuntariamente a alguno de ellos, quiero nombrar a: Sonia Hornos, Erick Bremmerman, Aldo Rodríguez, Cecilia Garbarino, Gerardo Vitale, Nicolás Pérez, Rodrigo Alonso Suárez, Marcelo Zorrilla, Pablo Lorda, Bianca Silveira, Camila Hernández y Margarita Grandjean.

Agradezco institucionalmente al Ce.R.P del Litoral en la figura de su director Víctor Pizzichillo y al Departamento de Física del CENUR LN - Laboratorio de Investigación en Enseñanza de la Física (LIEF) de la Universidad de la República en la figura de su director Gonzalo Abal. Ambas instituciones han permitido que sus laboratorios puedan ser utilizados para testear las actividades experimentales que aquí se presentan.

Hoja en blanco

Resumen

El presente trabajo propone una metodología para el aprendizaje de física moderna, principalmente para estudiantes que se encuentran cursando los dos últimos años de bachillerato de enseñanza secundaria. Enfoque constructivista del aprendizaje, en donde los estudiantes tienen un rol activo, son responsables de su proceso de construcción de conocimientos y, en donde los docentes actúan como generadores de situaciones de enseñanza para el aprendizaje.

La metodología propuesta se fundamenta en el estudio del estado del arte del aprendizaje de física moderna en la enseñanza secundaria de Uruguay así como del análisis de diferentes fuentes de información: programas de cursos de física moderna de nivel terciario universitario y de formación docente y sus libros de texto más comunes, la opinión de informantes claves, programas de física y química de bachillerato de secundaria y metodologías de enseñanza con un marco conceptual coherente con el constructivismo.

La propuesta metodológica incorpora experimentos que requieren responder preguntas desafiantes para estudiantes secundarios. Varios de los experimentos aquí desarrollados fueron implementados en dos cursos de tercero de bachillerato de secundaria, uno de opción científico-matemático y el otro de opción ciencias-biológicas. Los ejecutores de las propuestas fueron los docentes de estos cursos, en el científico-matemático un profesor de Química y en la opción ciencias-biológicas un profesor de Física.

El análisis de los resultados de su implementación en el aula muestra que los estudiantes se ven atraídos y motivados por el desafío de responder preguntas a través de la experimentación y aprender con y del otro. Los estudiantes fueron capaces de medir cuidadosamente y analizar los datos obtenidos utilizando planillas de cálculo.

Es importante destacar que, la introducción de Tecnologías de la Información y Comunicación (PC y teléfonos inteligentes, entre otros dispositivos) para realizar los experimentos propuestos, permite disponer de un laboratorio simple, económico y al alcance de todos. Permitiendo realizar experimentos con distintos grados de

sofisticación, que los estudiantes lo pueden realizar en el aula, un parque, en sus propias casas o en el lugar que lo deseen y en el momento que lo prefieran.

Varios de los proyectos desarrollados en el contexto de la presente tesis fueron publicados en diversas revistas. Las propuestas educativas desarrolladas aquí, han tenido buena acogida en la comunidad educativa regional, en su presentación en diferentes congresos de enseñanza de las ciencias. Algunas de las actividades experimentales innovadoras de esta tesis, fueron premiadas en la convocatoria para presentar experiencias didácticas de Física organizada por la Universidad Nacional de Tucumán y la Asociación Física Argentina.

Capítulo 1.Introducción

La teoría de la relatividad especial en relación con sus fenómenos y las teorías de los fenómenos cuánticos, son de los temas que más comúnmente se estudian en los cursos básicos de la Física Moderna. Particularmente la aplicación de la relatividad especial y la mecánica cuántica, incluyendo aplicaciones al átomo y al núcleo atómico (Eisberg, 1974).

En Uruguay existen tres cursos que en su denominación incluyen el término Física Moderna, en diferentes instituciones educativas de nivel terciario. Estos cursos se vinculan a la licenciatura de Física y afines, la formación del profesorado de Física y como opcional en algunas carreras de ingeniería (por ejemplo eléctrica). En cada uno de los ámbitos en donde se enseña, se busca contribuir al perfil del egresado (licenciados, ingenieros o profesores de física de enseñanza media) actualizando en nociones de la física de comienzos del siglo XX. Más aún, la formación de profesores de química incluye contenidos de física moderna en los cursos de Física II y Química General II, sin llamarlos de esa manera.

En la educación secundaria no hay un curso que se denomine física moderna pero al igual que en el profesorado de Química, se incluyen contenidos en los programas de Física y Química, principalmente de bachillerato. Su presencia no garantiza ni su enseñanza ni su aprendizaje puesto que en nuestro país se ha avanzado poco en metodologías de enseñanza que pongan el acento en el aprendizaje de contenidos de física moderna.

Los docentes tienden a dedicar poco tiempo a estos contenidos, si se compara con otros del mismo programa, siendo presentados principalmente como informaciones que incluyen ecuaciones para centrarse en resolver ejercicios. Si el abordaje de los contenidos es solamente a nivel de transmisión de información el aprendizaje de los estudiantes se ve muy reducido. La escasa comprensión de los conceptos se traduce en que no sean capaces de explicarlos y solo puedan repetir la información de forma casi memorística.

Esta forma de acercar a los estudiantes a estos temas produce escaso interés y desmotivación en el estudiante. Por su parte los docentes no se sienten cómodos enseñando ya que reconocen la poca efectividad de su propuesta para el aprendizaje. Ni la enseñanza ni el aprendizaje son satisfactorios. Esta forma de enfocar la enseñanza de Física Moderna lleva a que unos hagan “como que enseñan” y otros “como que aprenden”. En otras palabras, se enmarca en un aprendizaje memorístico y superficial solamente.

El presente trabajo propone una forma alternativa y fundada de enseñar física moderna en la enseñanza secundaria, atendiendo a los pre-requisitos con que cuentan los estudiantes. Con una intensidad moderada, acorde al nivel de los estudiantes de bachillerato y con un enfoque coherente con el constructivismo.

La principal contribución de este trabajo, además de discutir un marco conceptual de la didáctica, es haber desarrollado varias actividades experimentales, que se publicaron en varias revistas y fueron presentadas en congresos.

- 1) Calderón, S., Núñez, P., **Di Laccio, J.L.**, Mora Iannelli, L. y Gil, S. (2015) Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.12 (1), 212-226.
- 2) Gil, S. y **Di Laccio J. L.** (2017). Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias. *American Journal of Physics Education*, 1305 (1-9). Recuperado de: http://www.lajpe.org/mar17/1305_Salvador_2017.pdf
- 3) **Di Laccio, J.**, Vitale, G., Alonso-Suárez, R., Pérez, N. y Gil S. (2017). Estudio del Efecto Doppler usando Smartphones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.14 (3), 637-646. Recuperado de: <http://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3588/0>

Justificación y pertinencia

En Uruguay la cobertura de Internet en los hogares es del 75% (70% con fibra óptica) y en la educación media es mayor al 90% (Tolosa, 2017; Mateu, 2010), la democratización del acceso a la información es una realidad salvo raras excepciones en el medio rural. El empleo de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) hoy en día es moneda corriente en la sociedad y las aulas se ven permeadas por estas. Muchos de los estudiantes de educación secundaria cuentan con teléfonos inteligentes (smartphones), computadoras personales (PC), tabletas y otras tecnologías que son usadas con fines de sociabilizar. El hecho de que los estudiantes cuenten con recursos tecnológicos brinda oportunidades para su formación y un desafío en su inclusión genuina en el aula.

Si usamos Internet y le preguntamos al buscador de Google, por ejemplo: ¿Cuál es la edad del universo?, rápidamente ofrece cerca de 8.450.000 resultados con una búsqueda que tarda menos de medio segundo. La información está al alcance de todos pero no siempre es confiable.

En nuestros días, en la llamada sociedad de la información, obtenerla es muy sencillo y nuestros estudiantes, mayormente nativos digitales, lo emplean para sus estudios como parte del lenguaje y herramientas cognitivas que manejan (Prensky, 2001). Conseguir información es muy diferente de comprenderla y usarla con fines productivos para la enseñanza y el aprendizaje. Una problemática es que los estudiantes "creen", equivocadamente, que acceder a la información inmediatamente, es suficiente para saber sobre un tema, desconociendo el sustento de dicho conocimiento. Es decir, en qué teorías, principios y leyes se ampara.

Cuando los docentes de ciencias solicitan a sus estudiantes que estudien un tema, estos usan los buscadores de Internet para prepararlo. Extraen información y luego, sin más, se conforman con repetirla en el aula. Son poco críticos de la veracidad de las fuentes de internet usadas. Al cuestionarlos sobre lo estudiado y preguntarles sobre los conceptos no logran explicar los porqués, dicen: “si la web lo dice así debe ser”.

Aunque no carguemos la tinta solamente sobre los estudiantes, dado que también los docentes son responsables del resultado obtenido, porque, no orientan a sus estudiantes sobre cómo, dónde y en qué sitios, plataformas, bibliotecas pueden realizar la búsqueda para que resulte productiva. La mayoría de los estudiantes desconoce el Portal Timbó, o el portal Uruguay Educa, por citar portales educativos uruguayos con información.

Entonces, surge la pregunta, ¿se está dotando con esta formación a los estudiantes de las herramientas, estrategias, para que puedan aprender a aprender? Si la tendencia actual continua, es posible que los estudiantes al culminar el bachillerato de educación secundaria solo tengan una mirada fragmentaria del conocimiento científico y esta no permita un manejo de competencias que pueden trasladarse a la vida del estudiante, ya sea en el trabajo o en sus futuros estudios. El mero acto de acumular información y recordarla no va en línea con un estudiante reflexivo y crítico ni con el tipo de aprendizaje que se necesita en el siglo XXI.

Alentar el desarrollo de competencias para aprender a aprender, el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad e innovación, la adquisición de conocimientos básicos sobre las TIC, competencias metacognitivas, entre otras, es un camino deseable (Scott, 2015). Lo enriquecedor del conocimiento es su comprensión y las posibles críticas que se le puedan realizar. La ciencia debería permitir que los estudiantes pudieran diferenciar entre una presunción y un hecho científicamente probado.

Así, el acceso a la información, que era una de las mayores dificultades en el pasado, con el advenimiento de las TIC y la coyuntura de la extensión del Plan CEIBAL, hacen que la información disponible deje de ser el problema. Entonces, el nuevo desafío es la selección, comprensión, fundamento y uso adecuado de esta información (Calderón, Núñez, Di Laccio, Iannelli y Gil, 2015).

Algunos estudiantes piensan que las respuestas son más importantes que las preguntas y que es fácil responder a cualquier interrogante cuando se tiene un buscador en el teléfono inteligente o en la computadora. La enseñanza de Química y de Física a nivel de secundaria en Uruguay se enfrenta con las dificultades descriptas

anteriormente. La enseñanza que se basa en acumular información y resolver ejercicios mecánicos para salvar pruebas es incompleta, obsoleta para estos tiempos y aburrida para los estudiantes y docentes. Muchas veces se escucha decir a los estudiantes en clases de ciencia “esto es así porque lo dijo el profesor” o por parte de los docentes “copien esto que es así”, estas afirmaciones desvirtúan la propia ciencia, ya que el conocimiento se construye con diferentes métodos de investigación y conclusiones que son el resultado de delicados análisis de datos experimentales, que implicaron la puesta a prueba de diversas hipótesis, el contrastar y refutar teorías, entre otros.

Alicia Camilloni (1997) afirma:

Se ha producido la ruptura conceptual entre los procesos de enseñanza y aprendizaje, abandonando un lema pedagógico (“el proceso enseñanza-aprendizaje” como objeto de conocimiento de la didáctica y como propósito de la acción educativa) que en su momento pudo ser significativo, pero que en las últimas décadas se había convertido en un obstáculo para la comprensión, la explicación y la formulación de la normativa didáctica. Se parte ahora de la idea de que son dos procesos claramente delimitados, diferentes, y hasta contradictorio en muchos casos. Sobre la base de esta diferencia, la didáctica se está constituyendo como una disciplina, con un objeto que se puede definir de maneras distintas porque es polisémico, pero que constituye un objeto sólido de conocimiento y acción. (p. 27)

En acuerdo con Camilloni, y teniendo en cuenta que en la enseñanza para el aprendizaje de Química y Física no se debería dejar de lado lo que se llama el *know how* (es decir, saber analizar los orígenes y la creación del conocimiento). Es decir, los métodos que usa la ciencia para producir conocimientos y que permiten conocer los caminos que el investigador desarrolla para su conocimiento y fundamentación. Incluirlos llevaría de forma colateral a que el estudiante maneje algunas competencias y procedimientos que se pueden usar en su curso pero también en otras situaciones nuevas (Gil, 2016a). Además, facilitaría que los estudiantes se cuestionen: ¿Cómo sabemos esto? ¿Por qué creemos en aquello? ¿Cómo llegamos a esta conclusión?

Estas problemáticas hacen que realice una revisión de los programas de bachillerato de Física y Química con el fin de detectar algunos indicios que tal vez podrían ayudar a entender por qué muchas veces se enseñan estas disciplinas principalmente desde la teoría y la exposición y enfocadas en resolver ejercicios.

Programas de bachillerato de Química y Física de Uruguay

Los programas de Física y Química de bachillerato al compararse año a año, es decir, 4^{to} de Física con 4^{to} de Química, etcétera, no presentan contenidos conceptuales desde la disciplina que sean comunes. Si la comparación se realiza de forma general existen algunos puntos de refuerzo: en la unidad 2 de Química de 6^{to} (3^{ero} de bachillerato diversificación científica o biológica) “Aspectos energéticos de las reacciones químicas” tiene puntos de contacto con la unidad 4 de Física de 5^{to} (2^{do} de bachillerato opción científica o biológica) “Termodinámica”, principalmente en lo que refiere a la primera ley de la termodinámica y sus conceptos adyacentes. Otra coincidencia de contenidos conceptuales se da entre la unidad “Física a Otras Escalas” de 3^{ero} de bachillerato de Física con la unidad 1 “Estructura de la materia” de 2^{do} de bachillerato de Química, en este caso con contenidos vinculados a Física Moderna. En los aspectos que hay fuertes coincidencias y refuerzos son en las competencias de trabajo experimental que deben desarrollarse en los estudiantes. A continuación se listan (Consejo de Educación Secundaria, 2016):

Programas de Química

1) 1^{ero} de Bachillerato:

- “El Laboratorio de Química es un ámbito privilegiado, muy importante para la construcción de los aprendizajes, considerado como espacio que permitirá la realización de actividades prácticas y su discusión con profundidad”
- “el trabajo de laboratorio tenderá a la adquisición por parte del estudiante de niveles cada vez mayores de autonomía, fomentándose en forma constante la creatividad.”
- “deberán desterrarse, salvo casos puntuales, las modalidades mecánicas y repetitivas del trabajo experimental”.

- “Para las actividades experimentales se propondrá una metodología de trabajo con los alumnos que incluya la reflexión sobre los requisitos experimentales y la discusión cuali y cuantitativas de los resultados obtenidos.”
- “Este enfoque requiere más tiempo de trabajo por parte de los estudiantes y docentes; se entiende preferible realizar alguna actividad menos, pero que las que se realicen sean significativas para la formación del alumno.”

2) 2^{do} de bachillerato:

- “se realizarán tres actividades, planteadas a modo de problemas que los alumnos deberán resolver de forma experimental, proponiendo diseños adecuados bajo la orientación del profesor.”

3) 3^{ero} de bachillerato:

- “El trabajo experimental es muy importante para la construcción de los aprendizajes.”
- “la presencia y participación del docente en su función de orientador fundamental y permanente”

Programas de Física

1) 1^{ero} de bachillerato

- “Desarrollar habilidades para resolver situaciones problemáticas sencillas a partir de: Manipulación de instrumentos, realización de medidas, utilización de unidades, cifras significativas, prefijos y notación científica. Realización e interpretación de esquemas. Construcción e interpretación de cuadros, esquemas, tablas y gráficas. Análisis e interpretación de resultados a través de la comunicación oral, escrita y el formalismo matemático. Realización de cálculos sencillos, discutiendo el marco de validez de las relaciones matemáticas que se utilizan. Confrontación de resultados obtenidos a partir de cálculos teóricos con los obtenidos experimentalmente.”

2) 2^{do} de bachillerato

- “Diseño de actividades experimentales. Elaboración de informes. Manejo de instrumentos, adquisición y tratamiento de datos. Expresión y contrastación de resultados. Obtención de conclusiones”
- “el tratamiento de la incertidumbre no puede ocultar la propuesta experimental que se está realizando”
- “Se sugiere la coordinación con los docentes de química para el tratamiento de las incertidumbres.”

3) 3^{ero} de bachillerato

- Se reiteran los de 2do de bachillerato agregando, “Si bien los elementos considerados son los mismos que para el segundo año de bachillerato diversificado, el estudiante deberá lograr una mayor profundización en ellos y un mayor grado de autonomía en su trabajo”.

Los programas muestran que el trabajo experimental debería ocupar un rol muy importante en los cursos de ambas asignaturas. La complementación entre ambas disciplinas es posible, en principio, a través de los contenidos transversales de laboratorio y también en temas vinculados a termodinámica y física moderna. Por otro lado, pensando desde la comprensión de algunos temas, es necesaria cierta base de una asignatura para que la otra sea comprendida. Ejemplo: en la “Estructura de la materia”, de química de 2^{do} de bachillerato, aparece el contenido cuantización de la energía y los niveles de energía. Para que el estudiante pueda comprender esto es necesario tener claro muchos conceptos desde la física, entre ellos: el modelo de fotón, de donde surge la cuantización (radiación de cuerpo negro) y otros conceptos de física básica. Otro ejemplo de complementación: en el curso de Física de 3^{ero} de bachillerato en la unidad “Física en otras escalas”, que trata de Física Moderna, puede complementarse con el estudio de la radiactividad natural y no verse este tema como un compartimento aislado en química. Es decir, se pueden encontrar temas que abordados desde ambas disciplinas de forma coordinada pueden aportar a la significatividad de los aprendizajes, poniendo en relieve muchos de los contenidos transversales de los cursos referidos a la experimentación.

Experimentar con propuestas para el aula que sean fermentos en las conexiones de las asignaturas, puede ser un elemento que ayude a los docentes a motivar a los estudiantes para el aprendizaje (Tapia, 1997). Si además se explota la realización de experimentos, se podrá avanzar en que los estudiantes conozcan algunos de los métodos que usa la ciencia para creer en lo que cree. Así, se promueve la adquisición de herramientas útiles para abordar luego diferentes tipos de problemas.

El recorrido no es sencillo, un buen comienzo podría ser desarrollar actividades experimentales con “buen gancho” para que los estudiantes se motiven y aprendan y que el docente se sienta reconfortado enseñándolo. Desde la perspectiva de la enseñanza, es valioso el aporte de Jorge Larrosa (2007), en relación al valor de la experiencia y la vivencia, que genera el acontecimiento de lograr conocer.

En este sentido, algunos contenidos que corresponden a física moderna y que son objetos de los programas, permiten una coordinación y complementación natural entre las disciplinas que enriquecen la calidad de la propuesta de aula y los aprendizajes de los estudiantes.

La inclusión de la temática en los programas de enseñanza secundaria, tienen al menos dos grandes objetivos:

- 1) brindar una visión de ciencia y en particular de física y química más actualizada, ya que la formación de los primeros años tiene un su fondo el paradigma clásico de una ciencia como producto acabado
- 2) un fin propedéutico, de acercamiento al tema para posteriores estudios.

Enseñar conceptos de física moderna permite conocer los orígenes de muchos avances en ciencia y tecnología así como la realización de proyectos de investigación de vanguardia y su interpretación. Abre puertas para ingresar a temas muy interesantes como: partículas fundamentales, cosmología, semiconductores, nanotecnología, entre otros, que generalmente el estudiante sabe que existe por los medios de comunicación más que por la escuela.

Sin embargo, no podemos desconocer el rol que cumple el sistema educativo, sus instituciones y los docentes en la enseñanza de la misma. Lidia Fernández (1994) con relación a las instituciones educativas, nos dice:

Una institución es en principio un objeto cultural que expresa cierta cuota de poder social...La institución expresa la posibilidad de lo grupal o colectivo para regular el comportamiento individual...El nacimiento y acontecer del ser humano se produce en una trama de relaciones y sucesos pautados por instituciones de carácter diverso. (p.17)

Hoy en día los sistemas educativos favorecen el producto, el resultado, provocando que las instituciones educativas y los docentes de física y química se alineen con esta propuesta, aferrándose a modos en donde los estudiantes deban repetir información y resolver problemas de lápiz y papel. Dejando de lado la comprensión de conceptos, procedimientos, la realización de experimentos y el desarrollo de diferentes destrezas que le permitan entender al estudiante el cómo y el porqué de la información o problema. Nos enfrentamos a un problema de enfoque de enseñanza y a la necesidad de cambio paradigmático (Morín, 2001).

Los programas tienen la intencionalidad de incluir temas de física moderna en el currículo. A lo largo de los diferentes años de bachillerato, los contenidos se distribuyen, en 2^{do} de bachillerato (5^{to} año) para la asignatura química y en 3^{ero} de bachillerato (6^{to} año) para la asignatura física se desarrollan en mayor cantidad de temas.

Los docentes, con el objetivo de entender e interpretar lo que ocurre en sus prácticas de enseñanza, incorporan a sus rutinas un conjunto de creencias que mucho tienen que ver con sus experiencias personales. Estas procuran ser la base de las respuestas a las diferentes situaciones de aula ya que permite dotarlas de significado. Este conocimiento, estructurado y coherente con algunos aspectos de la realidad, es lo que se denomina teorías implícitas (Rodrigo, Rodríguez y Marrero, 1993).

En diferentes talleres desarrollados en el Centro Regional de Profesores del Litoral y en congresos, dirigido a docentes de Física y Química de nivel medio, se discutieron con los participantes temas de física moderna para la enseñanza secundaria en donde las teorías implícitas salen a relucir. De intensos intercambios se pueden identificar algunas de creencias y sentir de los docentes.

Muchos docentes no se sienten “cómodos” al enseñar contenidos de física moderna. Esto lleva a que en sus planificaciones anuales prioricen otros contenidos de los programas. Cuando los contenidos son abordados por los docentes, se desarrollan de forma muy rápida y priorizando la información del tema por sobre su entendimiento. Otras veces se planifican pero luego no se desarrollan. Algunos de los motivos que esgrimen los docentes frente a su no abordaje son: razones de tiempo, consideran otros temas de mayor relevancia, los estudiantes no están preparados, no son de su preferencia ya que no los vieron en su formación inicial pensando en su trasposición didáctica, exceso de contenido para el tiempo que es recomendado en los programas, entre otras (Di Laccio, 2007, 2008 y 2009; Di Laccio y Vitale, 2016). En general, los docentes entienden que muchos conceptos de Física Moderna son difíciles para estudiantes que no están preparados. Además piensan que brindarlos no cambia sustancialmente la formación de los estudiantes.

No todos los docentes reducen a la mínima expresión su tratamiento, hay quienes manifiestan la importancia de su enseñanza y su inclusión en el aula. En estos casos la metodología que es usada habitualmente para la enseñanza es expositiva, incluyendo luego repartidos de ejercicios que ocupan la mayor parte del tiempo de aula. Los ejercicios son en general para aplicar ecuaciones y no invitan a una vinculación explícita de conceptos teóricos con aspectos procedimentales y/o experimentales. Los ejercicios se pueden hacer sin la necesidad de tener claros los conceptos o el por qué y cómo de la situación planteada, basta con conocer los datos y sustituir correctamente. Para los estudiantes este tipo de propuestas no son atractivas sino un requisito necesario para “hacer que aprende” y son poco eficaces para el aprendizaje significativo ya que no son capaces de explicar sus propios procedimientos (Di Laccio, 2009).

Las clases que son principalmente unidireccionales, el docente expone al estudiante que recibe, llevan a un clima de formalidad y seriedad que no da espacio a las

preguntas y opiniones. En este contexto existe una cierta creencia de que una explicación clara del tema es suficiente para que los estudiantes aprendan (Gil, 2006a, 2006b).

No es común que los docentes propongan a sus estudiantes actividades experimentales en el aula o fuera de esta para generar discusiones, validar conocimientos, ilustrar procedimientos, etc. La escasa realización de actividades experimentales brinda una visión fragmentaria de la ciencia y de física y química en particular.

Los docentes justifican la no realización de experimentos por: lo numeroso de los grupos, por la escasa cantidad de equipos de laboratorio, llevan mucho tiempo y no permite recorrer la mayoría de los puntos del programa. Para ilustrar algunos conceptos de física moderna a veces se usan simuladores porque se pueden proyectar en pantalla (“son experimentos que siempre dan bien”) al gran grupo y permite dirigir y ordenar mejor la clase.

Particularmente los docentes tienen la idea de que los experimentos en Física Moderna necesitan de grandes instrumentales o de aparatos, dispositivos, instrumentos que son muy costosos. Tienen la presunción de que el experimento debe ser al pie de la letra, la reproducción de experimentos llevados a cabo en laboratorios de investigación. Este pre concepto tiene que ver en algunos casos con su formación; en su formación vieron una única forma de enfocar un curso de física moderna que reproducen en sus clases. Entonces, si los que cursos que recibieron cuando fueron estudiantes en su formación de grado fueron exclusivamente teóricos, ahora como docentes siguen esas tradiciones.

La enseñanza para el aprendizaje de contenidos de Física Moderna con las características anteriores no es efectiva. El docente se encuentra con pocas herramientas para llevar una enseñanza eficaz y disfrutar de la misma (Di Laccio, 2009). Los estudiantes se desmotivan con facilidad ante una propuesta que está centrada en transmitir informaciones, hacer ejercicios y que no les permite comprender su vínculo con los temas que son cotidianos en su realidad. Planteando esta situación en lenguaje

coloquial “solo aprenden el cuento para exonerar el curso o salvar examen”. Con este enfoque de enseñanza los estudiantes al final de la secundaria internalizan que física y química son difíciles, no tienen que ver con su realidad, no les son útiles para su vida diaria, y por ende, no tiene importancia entenderlas, aprenderlas y/o aplicarlas.

La enseñanza de contenidos es una enseñanza estática por así decirlo, sin embargo, la enseñanza de los métodos que llevan al conocimiento de dichos contenidos y utilizando situaciones movilizantes y motivadoras es una enseñanza para la vida, que los estudiantes podrán usar aún si cambia el contenido ya revelado del conocimiento científico. Se deben buscar alternativas metodológicas que faciliten la labor docente y coloquen al estudiante en el centro del acto educativo como constructor de sus aprendizajes (Arons, 1973; Hake, 2015; Wieman C., Perkins K., 2005; Gil S., 2006b).

Enseñanza de conceptos de física moderna en la escuela secundaria de Uruguay

Son varias las contribuciones que realiza la enseñanza de temas de física moderna a la formación del estudiante, entre ellos (Ostermann y Moreira, 2000):

- Distinguir diferentes concepciones de ciencia, una previa a las revoluciones de la Física y otra luego.
- Entender temas de actualidad relacionados con los avances tecnológicos de impacto que nos rodean.
- Comprender el cambio de visión de la ciencia y la cultura debido a dos grandes revoluciones de la Física ocurridas a principios del siglo XX: Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica.
- A que el alumno no escuche hablar de “*Big Bang*” solo en la TV o Internet sino en sus cursos de Física o Química de secundaria con la orientación docente necesaria.
- Conocer las limitaciones de las teorías clásicas.
- La enseñanza de temas actuales de la física puede contribuir a generar una visión de ciencia y del trabajo científico superadora de la visión lineal, acumulativa del desarrollo científico que está en los libros de texto y en las formas de enseñanza en las clases de Física.
- Mejorar la alfabetización científica de todo ciudadano.
- Conocer los procedimientos por los cuales validamos el conocimiento científico.

Uno de los aspectos más interesantes, sino el más interesante, de la Física Moderna, es que muchos de los paradigmas de la Física Clásica fallan cuando se los quieren extrapolar a nuevos fenómenos. Gil Pérez, Senet y Solbes (1986) concluyen:

1. Tanto el profesorado como los libros de texto realizan una introducción desestructurada de la Física Moderna, que no pone de manifiesto su ruptura con la Física Clásica y la existencia de diferencias entre ambas y que introduce errores conceptuales en las ideas básicas de Física Moderna.
2. Esto provoca que los alumnos alcancen escasa comprensión no solo de la Física moderna, sino también de la clásica, al no tener claros sus límites o las diferencias entre ambos paradigmas (p. 20).

La descripción de fenómenos del campo de la Física Moderna, necesita de varios conceptos de la física clásica ya que un hecho muy interesante es discutir los límites de validez de los contenidos que los estudiantes han obtenido a lo largo de su escolarización. Los estudiantes para comprender algunos conceptos de Física Moderna deberían contar con unos conocimientos suficientes de la física clásica: mecánica, electromagnetismo y nociones de termodinámica a nivel elemental.

Los estudiantes de los dos últimos años de bachillerato de secundaria son los que, de acuerdo a los programas oficiales, tienen en mayor medida los pre-requisitos necesarios para comprender contenidos de Física Moderna. También son los que de acuerdo a su edad son más maduros.

A modo de ejemplo, suponga que un docente de Química debe enseñar el modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno, tal como establece el Programa Oficial de 2º año de bachillerato de química, reformulación 2006, es claro que los estudiantes necesitan manejar varios pre-requisitos que provienen de la física. Uno de los postulados del modelo dice que el momento angular del átomo está cuantizado. Los estudiantes que no sepan que es el momento angular y no conozcan que significa

cuantización, tendrán muchas dificultades en entender tan solo uno de los postulados. Si el docente brinda las informaciones del modelo sin más, los estudiantes podrán repetir la información pero estará vacía de entendimiento. Lo que se busca no es un aprendizaje memorístico sino la comprensión y uso del concepto para describir situaciones.

Hay muchas ideas difíciles para los estudiantes principiantes en el modelo del átomo. Piense ahora en que la cuantización del momento angular lleva a que la energía de las órbitas de Bohr están cuantizadas, ¿cómo procesa el estudiante que en física clásica los electrones al acelerar irradian energía y aquí en este modelo ya no lo hace? El estudiante, ¿lo entiende por el simple hecho de que el docente se lo diga? Si nuestra enseñanza se base exclusivamente en actos de fe y creencias de los estudiantes sobre nuestros dichos no obtendremos estudiantes críticos ni menos reflexivos.

Lo anterior no es indicativo de que no deba enseñarse el modelo de Bohr en secundaria u otro tema, en este sentido hay un debate sobre qué enseñar (Vicario y Venier 2010). Lo que muestra es que recorrer el camino de la enseñanza de la Física Moderna en secundaria tiene sus limitaciones. No se debería ser muy ambicioso sino más bien cauteloso y buscar diferentes aproximaciones a los contenidos utilizando elementos que les sean familiares a los estudiantes. Temas de su interés, motivantes, que permitan mostrar la complejidad del conocimiento pero a su vez que la coordinación de diferentes disciplinas permita abordarlos. El conocimiento necesita de la natural colaboración de diferentes disciplinas, ya que la realidad indica que los compartimentos estancos son insuficientes para dar explicaciones completas.

¿En qué elementos de física moderna podemos enfatizar? En algunos conceptos cercanos a los estudiantes, que partan de los conocimientos que ya posee y a partir de estos dar pequeños saltos, es decir, avanzar de forma prudente. Por ejemplo, para estudiar el corrimiento al rojo (*red shift*) del espectro de galaxias que se alejan, podría iniciarse con los conocimientos del efecto Doppler acústico para poco a poco brindar elementos de comprensión al estudiante. Una vez comprendidas las ideas base procurar profundizar y extrapolar los conocimientos (Di Laccio, Vitale, Alonso-Suárez, Pérez, Gil, 2017).

La enseñanza de Física Moderna pensada en el aprendizaje del estudiante implica un cambio de paradigma a nivel cognitivo, procedimental y metodológico. Esto representa un desafío para los actores del conocimiento, docente y estudiante, desafío que no todos se sienten cómodos al enfrentar. Este cambio de paradigma representa un traslado del poder que tiene el docente al ser el poseedor del conocimiento al estudiante.

En el nuevo paradigma, el estudiante tiene un rol activo y proactivo en la generación de conocimiento. Implica entonces, que el aula se redimensione, que deje de ser el tradicional espacio de subordinación para que se convierta en un espacio de interacción, de coordinación, de construcción-deconstrucción mutua y compartida.

Un aula así concebida genera tensiones en el cuerpo docente, que muchas veces siente que no tiene la formación suficiente como para enfrentarlo. Entonces puede ser adecuado conformar un equipo docente que trabaje de forma coordinada, colaborativa e integralmente, por ejemplo diseñando materiales y tutoriales que garanticen el cumplimiento de objetivos de enseñanza concretos y preferiblemente medibles con diferentes instrumentos de evaluación.

Podría pensarse a priori que encarar este tipo de desafíos necesita de un laboratorio muy sofisticado. En este trabajo trataremos de mostrar que esto no es necesariamente así, que con relativamente pocos recursos económicos y con algo de imaginación se pueden hacer muchas actividades experimentales que ilustren los métodos que lleva adelante la ciencia para fundamentar nuestras hipótesis.

Definición del problema

La enseñanza de Física Moderna para la enseñanza secundaria en los programas de química como de física de bachillerato de Uruguay, tiene diferentes problemas:

- 1) Desde los programas oficiales hay un vacío de propuestas concretas para la enseñanza en el aula, brindándose orientaciones generales. Los docentes no se sienten cómodos al enseñar Física Moderna, no cuentan con ejemplos concretos para la transposición didáctica que sean fermentos para generar sus propias propuestas. Si bien en Internet hay mucha información sobre el tema, estas informaciones no se contextualizan a nuestro país, tampoco hay un texto guía que rescate no solo los contenidos temáticos, sino las sugerencias y ejemplos que permitan al colega nutrirse de una gama de posibilidades de implementación de clases y pueda aprovecharla en su labor. La mayor parte de esta riqueza en experiencias docentes se difunden solamente a través de la interacción personal y esto no es suficiente en estos tiempos.
- 2) Mientras que los estudiantes, carecen de la preparación académica en la que se evidencien los pre-requisitos que permitan un abordaje de los contenidos adecuados al nivel y contexto (bachillerato, nivel pre-universitario), conformándose con la realización de ejercicios de forma mecánica, sin comprensión ni dificultad. Piensan que las respuestas son más importantes que las preguntas. Terminan su escolarización sin conocer los métodos y procedimientos que tiene la ciencia para validar su conocimiento, y muy pocas veces vinculan el conocimiento académico con el de su vida cotidiana. Otro factor es que las propuestas de aula no son atractivas ni los pone en el centro del acto educativo, lo que conlleva a la desmotivación por el aprendizaje.

Preguntas de investigación

- 1) ¿Qué relación/es existe entre los contenidos de física moderna, que son propuestos en cursos avanzados de nivel terciario, con lo que contenidos que se proponen en enseñanza secundaria?
- 2) ¿Los programas de Física y Química de secundaria presentan contenidos de Física Moderna? Si es así, ¿existen puntos de encuentro para potenciar el aprendizaje desde la coordinación de dichas asignaturas?
- 3) En la formación docente de profesores de Física y Química, ¿cuál es el saber disciplinar que se les brinda en la formación de grado en temas de Física Moderna? ¿Hay relación con lo que les piden los programas de secundaria?
- 4) ¿Es adecuado incluir Física Moderna en la enseñanza media? ¿Hasta qué grado de profundidad? ¿Qué opinan los expertos?
- 5) El concepto de aula laboratorio de bajo costo, ¿puede extenderse a contenidos de Física Moderna? ¿Cómo?
- 6) Los estudiantes, ¿se motivan al desarrollar un mini proyecto experimental con TIC?
- 7) Si los docentes tuvieran propuestas concretas para enseñar física moderna en sus aulas, ¿se sentirían reconfortados enseñándola?

Objetivos generales

En este trabajo nos proponemos como objetivos generales:

1. Contribuir a la mejora de la enseñanza para el aprendizaje de la Química y Física a nivel nacional con énfasis en los aspectos metodológicos de la ciencia.
2. Aportar a la significatividad de los aprendizajes, mediante propuestas concretas de aula, vinculadas a la enseñanza y aprendizaje de contenidos de Física Moderna para la escuela secundaria.

Objetivos específicos

De forma específica se busca:

1. Realizar un estudio de programas de física moderna de nivel terciario, atendiendo a sus contenidos, pre-requisitos, carga horaria y estructura general.

2. Identificar en los programas de Química y Física, de formación docente de profesores, cuales son los contenidos de Física Moderna brindados a los futuros profesores.
3. Analizar los programas del Consejo de Educación Secundaria (CES) de Física y Química del Plan 2006.
4. Recabar la opinión, mediante encuestas, de informantes claves entre docentes universitarios y de formación docentes responsables de cursos de Física Moderna o afines a ella.
5. Elaborar un conjunto de proyectos experimentales con inclusión de TIC para abordar contenidos de Física Moderna, usando el concepto de laboratorio de bajo costo. Dirigidos a docentes y estudiantes de secundaria en sus dos últimos años.
6. Realizar un pilotaje de algunos mini proyectos experimentales en secundaria, en un curso de Química y un curso de Física con el fin de evaluar el aprendizaje de los estudiantes y la percepción de los docentes en su implementación.
7. Revisar las guías experimentales a partir de los resultados obtenidos del pilotaje.
8. Proponer una metodología para el aprendizaje de contenidos de física moderna.

Este estudio propone desarrollar una metodología para el aprendizaje de física moderna en educación secundaria con sus aspectos vinculados a la química, que ubique al estudiante en un rol de protagonista. Existen diferentes caminos a transitar para hacerlo. Aquí hemos decidido concentrarnos en la sistematización de información de programas, informantes claves, en un desarrollo de propuestas de enseñanza y un testeo de algunas de las propuestas en el contexto de educación secundaria. Las informaciones a tener presente son: los programas de bachillerato de Química y Física de la enseñanza secundaria, programas que incorporen contenidos de Física Moderna de la Universidad y de la formación de profesores de Física y Química.

Los informantes claves son: docentes universitarios de diferentes facultades (Química, Ingeniería y Ciencias) y de formación docente (docentes de Física Moderna y coordinadores nacionales) calificados y con reconocida trayectoria. Las propuestas de enseñanza para el aula incluyen temas de interés para los estudiantes y no necesitan de

equipos costosos sino en extender el concepto de aula-laboratorio de bajo costo. El testeo de algunas propuestas se realiza en enseñanza secundaria.

Se espera que el enfoque desarrollado y los recursos didácticos que se propongan sirvan de motivación para los colegas docentes y sean una fuente de inspiración para que puedan crear sus propias propuestas. En pos de una enseñanza y aprendizaje contextualizado, efectivo de Física Moderna y que permita que el docente se sienta reconfortado desarrollándolo.

Supuestos

Los supuestos de los cuales se partió en la indagación fueron los siguientes:

- 1) En los programas de Física y Química de secundaria los contenidos de Física Moderna son un apretado resumen de otros programas de nivel terciario para estudiantes más avanzados. Los contenidos propuestos en los programas son muy extensos para los tiempos asignados.
- 2) Los programas son muy ambiciosos en contenidos para el tiempo que se dispone. Esto no favorece la realización de experimentos ya que son actividades que requieren varias etapas y esto requiere más dedicación docente y el avance es lento respecto de las clases regulares.
- 3) La formación de base de los docentes de Física y Química es insuficiente para que puedan sentirse cómodos al enseñarla. Reproducen su formación, que se centra en transmisión de informaciones y la resolución de ejercicios.
- 4) No se facilita explícitamente, desde los programas de secundaria el trabajo interdisciplinario.
- 5) A nivel de informantes claves existen coincidencias en que en secundaria se debe enseñar física moderna.
- 6) Es posible generar mini proyectos experimentales con el concepto de laboratorio de bajo costo para temas de Física Moderna.
- 7) El trabajo en proyectos experimentales con inclusión de TIC activa la motivación intrínseca de los estudiantes y permite que adquieran competencias que le servirán para el tema y para otras actividades futuras.
- 8) Los docentes con apoyo son receptivos a incluir en sus clases mini proyectos experimentales y se sienten cómodos desarrollándolos. Reconocen los beneficios que tiene este enfoque con respecto de la metodología tradicional.

Capítulo 2. Marco Teórico

Las metodologías de enseñanza que posicionan al estudiante en un rol pasivo y aún hoy se utilizan a menudo en las aulas de nuestro país, llevan a que una importante proporción de estudiantes, se interesen poco en aprender Química y Física, se desmotiven con facilidad, no comprendan muchos de sus conceptos ni tampoco vean su utilidad e importancia. El clima en exceso de formalidad, de transmisión de información por sobre el experimentar y aprender a través de experiencias personales, reduce la participación espontánea del estudiante, la motivación y la curiosidad innata (Wieman, 2014; Hake, 1998; Moreira, 2010).

En el formato de clase magistral, en donde el docente es la autoridad del conocimiento, se postergan las iniciativas de los estudiantes, prima la enseñanza de contenido por encima de los tiempos de aprendizaje. Esta característica desmotiva y muchas veces quita lo divertido y apasionante que puede ser aprender Física y Química, en particular en secundaria, por las características de la población adolescente.

No resultan extraños los cuestionamientos de los estudiantes cuando plantean: “Para que estudiamos esto”. Esta pregunta por lo general incluye más que lo evidente, la necesidad de recuperar el sentido y valor de la enseñanza, donde se evidencia una crítica a las propuestas educativas por carecer de significación y por tanto no ser estimulantes ni atractivas para los estudiantes (Litwin, 1997, p.62).

Los estudiantes que concurren a las instituciones educativas hoy, están hiperconectados a través de sus dispositivos celulares, internet, computadoras personales o PC, evidenciando un manejo básico de los dispositivos y la lógica de su funcionamiento. Esto puede ser usado como un punto de partida para fines educativos dado que, no sólo es accesible, sino que resulta interesante, si comparamos el tiempo que cada día se les destina. Ahora bien, el simple hecho de tener un teléfono celular o PC no significa que hayamos solucionado todos los problemas de motivación y aprendizaje. Dado que no alcanza con tener accesibilidad, es indispensable diseñar actividades, propuestas, estrategias que las involucren (con fines educativos).

La incorporación genuina de TIC, con un enfoque metodológico adecuado, pueden colaborar a dar significado a las propuestas de clases reduciendo la actitud pasiva del estudiante. Un aspecto interesante es indagar el cómo, hasta qué punto y bajo qué circunstancias pueden llegar a modificar las prácticas educativas en donde se incorporan. Para Coll (2009),

(...) no es en las TIC ni en sus características propias y específicas, sino en las actividades que llevan a cabo profesores y estudiantes gracias a las posibilidades de comunicación, intercambio, acceso y procesamiento de la información que les ofrecen las TIC, donde hay que buscar las claves para comprender y valorar su impacto sobre la enseñanza y el aprendizaje. (p. 115).

La incorporación de TIC y su uso en sí mismo no mejoran de forma automática las prácticas educativas, mucho tiene que ver la compleja relación de estas con la didáctica de los docentes. Las TIC abren nuevos horizontes y posibilidades a los procesos de enseñanza y de aprendizaje pero hay que ser cuidadoso en el enfoque metodológico, de forma tal que se constituya en una herramienta capaz de generar contextos potenciales para la enseñanza y el aprendizaje, y no simple modismos (Gil, 2006a; Calderón et. al. 2015; Coll, 2009).

Los estudiantes de bachillerato transitan su período de adolescencia. Este período trae consigo múltiples cambios a nivel físico y emocional que lo desestabilizan y le generan incertidumbres. Asimismo, presentan cierta plasticidad que podría favorecer la adaptabilidad a diferentes propuestas. La adolescencia no la podemos pensar de forma aislada. Para Marcelo Viñar (2012): “Hoy ya no podemos, no debemos pensar las adolescencias como una entidad en sí misma, sino inmersa en el vértigo de un mundo que cambia a un ritmo desconocido hasta ahora en la historia de la humanidad. El intervalo y la distancia entre generaciones son hoy mayores que antaño”(p.6).

La brecha generacional entre docentes y estudiantes en la actualidad es mayor a la que existía en el pasado. En este contexto de cambios a nivel físico y emocional de los

estudiantes, la escuela secundaria les exige que cumplan un conjunto de reglas, muchas veces no comprendidas por ellos.

Para los docentes, enseñar y lograr aprendizajes en adolescentes que tienen intereses muy diferentes al de sus educadores es un verdadero reto. ¿Cómo diseñar propuesta de aula que sean motivadoras, atractivas y que logren aprendizajes profundos? Construir una respuesta es un desafío complejo, son múltiples variables que intervienen en la situación de enseñanza con diferentes grados de incidencia.

Cuando en el colectivo docente, se analiza, reflexiona y autoevalúa las clases dictadas, surge que una de las causas de la baja efectividad de las propuestas realizadas es la metodología seleccionada para el logro de aprendizajes. Esta no es capaz de llegarles a los adolescentes, “atraparlos”, generando por ende una actitud pasiva de receptor ante el conocimiento.

Una síntesis de la visión de Salvador Gil

Salvador Gil, es un especialista en física experimental, particularmente en el área de la física nuclear, ver figura 1. Ha realizado contribuciones en el estudio de reacciones nucleares de fusión usando aceleradores de partículas y en problemas de astrofísica nuclear. Actualmente es director de la carrera de ingeniería en energía de la Universidad de San Martín. Otra actividad a la que se ha dedicado a lo largo de su extensa carrera es a la enseñanza y difusión de las ciencias. Ha desarrollado el concepto de laboratorio de bajo costo con la inclusión de TIC.



Figura 1 Salvador Gil, es licenciado en física de la Universidad Nacional de Tucumán-Argentina (1977). Doctor en física de la Universidad de Washington, Seattle-WA-EE.UU. (1984). Parte de su aporte a la ciencia es la enseñanza y difusión de esta, el desarrollo de aulas laboratorios de bajo costo empleando nuevas tecnologías en la adquisición de datos y análisis de proyectos experimentales, con énfasis en los aspectos metodológicos de las ciencias y el aprendizaje por inmersión en las ciencias.

Debido a sus trabajos en enseñanza de las ciencias ha recibido el premio Excelencia en Gestión de Educación en Ciencias 2016 por la Fundación para la interacción de los sistemas productivo, educativo, científico-tecnológico (FUNPRECIT).

En sus trabajos, Salvador Gil, identifica algunas dificultades en la enseñanza de las ciencias en Argentina, en estudiantes de nivel secundario y primer año universitario, que en forma generalizada son comunes a los que presenta la educación secundaria en Uruguay. Determina que una importante proporción de estudiantes de secundario y de los primeros años universitarios, son poco receptivos a las ciencias. Describe que el escaso interés genera una significativa brecha entre los objetivos de enseñanza y los efectivos logros de aprendizaje, más de lo que los docentes imaginan. Gil (2006a, 2006b) identifica diferentes motivos que contribuyen a dicha situación:

- a) Las características de las propuestas programáticas de los cursos de las escuelas secundarias: muchas de ellas son solo una versión compactada y ligera de programas universitarios, desarrollados con mucho más tiempo, con la maduración intelectual de los estudiantes ya avanzados.
- b) El énfasis está en la trasmisión de información por encima de la construcción del conocimiento.
- c) Se hace hincapié en la resolución de ejercicios de lápiz y papel por sobre la discusión cualitativa: el excesivo énfasis en resolución de ejercicios numéricos, muchas veces artificiales va generando una imagen distorsionada de las ciencias, llevando a que muchos estudiantes asocien a la Física y la Química con un conjunto de fórmulas y procedimientos artificiosos para lograr resultados cuantitativos.
- d) La poca o nula experimentación: se privilegian las clases teóricas por sobre los experimentos. Los experimentos se plantean en muchos casos como rutinas para verificación de conceptos vistos en las clases teóricas y terminan siendo monótonas, poco atractivas y para nada desafiantes.
- e) El clima de formalidad, seriedad y rigidez que a veces es usado en la enseñanza: esto reduce la participación del estudiante y sustrae el carácter lúdico y de

aventura de la ciencia, que son elementos importantes en su desarrollo y motivación.

- f) El dejar de lado las iniciativas individuales de los estudiantes: muchas veces los alumnos cuentan con ideas creativas que incluyen el uso de tecnologías que le son familiares y no son tenidas en cuenta.

Lo anterior hace que los estudiantes al final de la secundaria lo que aprenden principalmente es que Química y Física son materias difíciles, complejas, alejadas de su vida diaria, que tienen más que ver con fórmulas, ejercicios complicados, situaciones irreales, descontextualizadas que casi siempre se resuelven con lápiz y papel. Como resultado de estos enfoques los alumnos carecen de una comprensión profunda y significativa de los conceptos, que les permita consolidarse como ciudadanos críticos y reflexivos, capaces de tomar decisiones, explicitando argumentos, analizando los pro y los contra de una situación, proponiendo estrategias, soluciones y procedimientos que les permitan resolver las cuestiones que se les plantean. Solo son capaces, en el mejor de los casos, de resolver problemas “tipo examen” y no pueden fundamentar el porqué de sus procedimientos. Probablemente muchos de ellos exoneren el curso o aprueben el examen, pero poco sabrán de ciencia, sus procedimientos y métodos para validar el conocimiento. La preparación que adquieren es para salvar una prueba pero no para aprender a aprender (Novak J.D. y Gowin D. B., 1988).

La situación descrita, conlleva a revisar las propuestas de contenidos así como las prácticas áulicas con el objetivo de buscar alternativas válidas que favorezcan un aprendizaje significativo y estimulante de las ciencias, en particular de Física y Química. La situación podría mejorarse con un cambio en la metodología de la enseñanza.

La metodología de enseñanza o enfoque metodológico de Salvador Gil se basa en muchas de las ideas de Arnold Arons, Lillian McDermott, siguiendo la tradición de la Universidad de Washington, Seattle. Entre estos referentes existen fuertes puntos de contacto:

- el aprendizaje centrado en el estudiante
- el diálogo socrático

- relaciones estudiante-docente que fomentan la coordinación antes que la subordinación
- énfasis en el trabajo experimental
- énfasis en los métodos de adquisición del conocimiento, más que en su mera transmisión
- concentrarse en pocos tópicos fundamentales, abordados con profundidad (menos es más)
- elaboración de guías para fomentar el trabajo autónomo del estudiante y apoyo a los docentes.

Su metodología de enseñanza está orientada a la concreción de dos grandes objetivos (Calderón, Núñez, Di Laccio, Iannelli L. y Gil, 2015):

1. *lograr una mejor y creciente alfabetización científica en los ciudadanos.*
2. *atraer, educar mejor y más eficientemente a futuros tecnólogos y científicos.*

Su propuesta de enseñanza para la escuela media, pone el acento en el trabajo activo de los estudiantes, con el fin de que comprendan los procesos y los métodos que la ciencia utiliza para validar sus leyes y principios. A partir de preguntas del estilo socrático: ¿cómo sabemos esto?, ¿por qué creemos en aquello? , incorpora la realización de proyectos experimentales. Considera primordial, por sobre la extensión y el tratamiento superficial, la selección de contenidos fundamentales y su desarrollo en profundidad. Para llegar a su meta ha desarrollado el concepto de aulas laboratorios de bajo costo con TIC.

Su propuesta metodológica propone las siguientes dimensiones:

Enseñanza centrada en el alumno: considera a los estudiantes como constructores activos del conocimiento y a los docentes como guías y facilitadores de los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

Aprendizaje por inmersión: incorpora en los cursos la realización de proyectos de investigación que recrean a escala reducida de tiempo, las diferentes facetas de la investigación científica. Estos proyectos procuran que los estudiantes “aprendan ciencias haciendo ciencias”, discutiendo con sus pares y con el docente, desarrollando

muchas habilidades que pueden ser usadas en otros ámbitos. Dosificando el esfuerzo que debe realizar el estudiante de acuerdo con el curso y nivel.

Aulas-laboratorios de bajo costo con TIC: utiliza las potencialidades de las TIC en sus propuestas experimentales para hacerlas posibles para todos los estudiantes, atractivas y que no requieran estar en un laboratorio tradicional. El concepto de TIC es muy amplio y lo delimita a la convergencia de computadoras, sistemas audiovisuales, Internet, teléfonos inteligentes, y diversos equipos que se integran con algunos de ellos. Desde luego, la lista que integran las TIC, es una lista abierta que se va modificando con el tiempo y en la medida que van surgiendo pueden ser incorporadas las nuevas tecnologías.

Reconoce que la enseñanza tradicional tiene beneficios para la formación de los estudiantes pero advierte que si solo se tiende a este tipo de enfoque en el aula es un sinónimo de fracaso en aprendizajes. El enfoque tradicional (clases teóricas y de práctico) se complementa con la incorporación de estrategias que incluyan proyectos experimentales. Su método busca el protagonismo del estudiante en el acto educativo, integrando por un lado las propuestas de proyectos experimentales y la generación de laboratorios de bajo costo para potenciar los cursos teóricos. Es así que, los estudiantes validan sus conocimientos mientras comprenden, aprenden y aplican los métodos que utiliza la ciencia. Su enfoque hace que el estudiante use la reflexión y la metacognición como herramientas para aprender de forma holística el conocimiento científico.

Su búsqueda de aprendizaje significativo permite recordar las tres formas de tomar conciencia del aprendizaje según Amparo Moreno (1988):

1. como sistema tensional de capacidad limitada
2. como sistema de control y regulación del funcionamiento cognitivo
3. como sistema de reflexión o metaconocimiento sobre los propios procesos y productos del sistema cognitivo.

Los tres sistemas pueden entenderse como niveles progresivos más complejos, dentro de un continuo.

Los trabajos en enseñanza de Salvador Gil tienen como referencia a los ocho principios de Alonso Tapia (1991) para mejorar el diseño motivacional de las tareas de aprendizaje:

1. Adecuar las tareas a la capacidad de los aprendices, reduciendo la capacidad de fracaso.
2. Informar a los aprendices de los objetivos de las tareas a realizar, orientando su atención y guiando su aprendizaje, mediante la activación de sus conocimientos previos.
3. Realizar evaluaciones proporcionando información relevante de sus errores. La evaluación vista como aprendizaje.
4. Conectar las tareas de aprendizaje con los intereses y móviles del aprendiz.
5. Generar contextos de aprendizaje fomentando la autonomía del aprendiz.
6. Valorar cada propuesta en el aprendiz.
7. El maestro debe aprender enseñando.
8. Aprendices y maestro comparten mucho tiempo de aprendizajes juntos, y se debe tender al aprendizaje eficaz utilizando la atención.

Los vínculos más estrechos entre los cursos de Física y Química de secundario, como ya se describió anteriormente, radican en los contenidos transversales de experimentación. Eso hace que, el foco se ubique en el aula laboratorio de bajo costo iniciado por Salvador Gil.

Aulas-Laboratorios de Bajo Costo con TIC

Un aula generalmente es el salón en donde profesores y estudiantes comparten sus conocimientos y aprendizajes, una de las primeras imágenes mentales es una distribución estándar de bancos, mesas, pizarra, etcétera. Por su parte, la de un laboratorio es la de un salón que consta de mesas o mesadas, acondicionado con espacios diferentes, que presenta distintos equipos que permiten el montaje de experimentos. El concepto de aula laboratorio es la conjunción de los anteriores en una única pieza que no necesariamente necesita de un salón. El salón mismo puede modificarse, abrirse, o no existir, ya que cualquier ámbito puede convertirse en un aula-laboratorio, por ejemplo la cocina o el patio de una casa, o un parque de diversiones, entre otros. Es, un lugar, en donde es posible realizar experimentos, compartir

conocimientos y aprendizajes con otros sin la necesidad de compartimentar la teoría de la experimentación.

Si a la concepción de aula laboratorio como un espacio de intercambio, aprendizaje en igualdad de condiciones, lugar privilegiado para potenciar la zona de desarrollo próximo, los aprendizajes significativos y profundos, le agregamos las TIC, una nueva puerta se abre. El aula laboratorio con el agregado de las TIC colabora con la creatividad, accesibilidad, disponibilidad e igualdad de oportunidades (porque cuando pensamos en la educación no contemplamos a aquellos estudiantes que tienen diferentes capacidades, y que las TIC, les posibilitan tener esas oportunidades que la educación de lápiz y papel, les impide). La inclusión de diferentes dispositivos (teléfonos inteligentes, la tarjeta de sonido de la PC, la cámara fotográfica, placas Arduino, etc.) y utilización de elementos de relativo bajo costo, nos facilita el experimentar sin la necesidad de equipos de costos elevados. Es posible conocer fenómenos que ocurren a nuestro alrededor con pocos recursos económicos incluyendo, esta forma, liceos con bajos recursos o que carecen de la infraestructura de laboratorios acorde a un curso experimental de bachillerato.

Las propuestas de proyectos experimentales apuntan a que los estudiantes puedan responder las preguntas: ¿Cómo sabemos esto?, ¿Por qué creemos en aquello? Estas preguntas ilustran la naturaleza del pensamiento científico. El aula laboratorio con TIC es una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un ámbito esencial para la enseñanza de la ciencia en un nivel introductorio. Brinda a los estudiantes la posibilidad de aprender a partir de sus propias experiencias, posibilitando la generación de hipótesis, diseño de experimentos, el manejo de datos y su análisis mediante diferentes herramientas y procedimientos, la posibilidad de equivocarse y aprender de los errores. Favorece el aprender con los pares y con el docente, de la interacción constante y repetida y la reflexión individual y colectiva (Gil y Di Laccio, 2017).

Una de las distorsiones prevalentes en las escuelas secundarias es la fragmentación del conocimiento y esto puede ser una de las consecuencias de la forma en que se encara la enseñanza. Esta fragmentación lleva a los estudiantes a ver por ejemplo, la matemática con un compartimiento estanco, desvinculado de las ciencias, y

el resto de las actividades de la vida. Esta fragmentación genera dificultades para el aprendizaje aún dentro de la misma escuela. Es frecuente encontrar estudiantes que siendo capaces de resolver un ejercicio o problema en matemática no puedan resolverlo si el mismo problema es planteado en otro contexto, por ejemplo en Química.

Por lo anterior es deseable incorporar en las escuelas secundarias la realización proyectos integradores de varias áreas de conocimiento, donde un grupo de estudiantes se reúnen para investigar un fenómeno o una situación que requiera el aporte de diversos conocimientos. En donde, cada grupo de estudiantes se reúna alrededor de un objetivo común. El proyecto por su naturaleza puede requerir del aporte de varias asignaturas. Esto no solo es un reto para el estudiante, sino también un desafío para los docentes, quienes deberán trabajar colaborativa e integradamente, para diseñar propuestas que "reten" a sus estudiantes. Su extensión debería ser bien pautada por los docentes, de modo de dar tiempo para su desarrollo pero no interferir demasiado en el desarrollo de los programas habituales de cada asignatura. En estos proyectos, los estudiantes, a partir de una guía elaborada por los docentes, realizan una búsqueda y selección de información complementaria relevante para lograr el objetivo propuesto. Los estudiantes, con los docentes actuando como facilitadores, concretan la investigación, incluyendo observaciones y/o experimentos relevantes. A lo largo de la actividad, se procurará dar cabida e incentivar las propuestas o sugerencias que puedan aportar los estudiantes y que contribuyan a la mejor la realización del proyecto (Calderón et. al., 2015).

La realización de los proyectos, incluye no sólo su diseño y presentación, sino también su evaluación. Esta evaluación, debe tener dos fines primordiales: por un lado permitirá retroalimentar el proceso de elaboración y diseño y por otro contribuir a evaluar el nivel de desempeño de los estudiantes, valorando no sólo la concreción, sino también el nivel de compromiso, la metodología de trabajo empleada, entre otros.

La evaluación de los proyectos tiene dos elementos uno formativo de retroalimentación en las diferentes etapas mediante la presentación de resultados parciales y otra sumativa que requiere que los estudiantes escriban un informe grupal de lo realizado, accesible a un público general, que no necesariamente conozca del tema

específico. Estos informes de proyectos, una vez corregidos por los docentes, se presentan al resto de sus pares y pueden subirse a una página de Internet por los mismos estudiantes, con asistencia del profesor de Informática. Los docentes de Informática y Lengua también pueden asistir a los estudiantes en la escritura del informe usando algún procesador de palabras y la elaboración de gráficos y diagramas que se deban agregar al informe. Estos informes servirán de modelos de proyectos de utilidad para otros estudiantes y docentes.

Las dimensiones de la propuesta metodológica de Gil, principalmente el concepto de laboratorio de bajo costo, son un insumo o referencia para buscar una alternativa a la actual manera de enseñanza de contenidos de Física Moderna en nuestro país. Su método ha sido aplicado en diferentes disciplinas: Biología, Astronomía, Física, Química, etc..

Si bien las propuestas de laboratorio de bajo costo no fueron desarrollados para temas directamente relacionados a Física Moderna puede ser una alternativa a explorar. Esa exploración debe hacerse con cautela, dado que los conocimientos previos de los estudiantes de nivel secundario, no son los mismos que se tienen en cursos formales de Física Moderna, tales como cursos universitarios o de formación docente. Entonces, se reconoce como una posible alternativa el aula de bajo costo con TIC, ¿pero qué involucrarían?

Aulas Laboratorios de Bajo Costo con TIC: el smartphone

Salvador Gil y su grupo de investigación en enseñanza de las ciencias son pioneros para América Latina en la generación de laboratorios de bajo costo. Los primeros trabajos de Gil, Reisin y Rodríguez (2006) se inician con el desarrollo de dichos laboratorios. Uno de los primeros trabajos inspiradores, presenta a la cámara digital como instrumento de medición en el laboratorio. En él, se muestra como la cámara en modo fotografía permite realizar diferentes estudios experimentales, entre ellos: geometría de una sombra, trayectoria de un chorro de agua, catenaria, cautica, etc., marcando el acento en la creatividad e interés de conocer el mundo que nos rodea.

Los aportes de Núñez, Calderón y Gil (2009a, 2009b, 2009c) presentan una ampliación del uso de la cámara fotográfica al estudio del sistema solar en el aula y la búsqueda de orden y armonía en la naturaleza, a través del estudio de leyes de escala en plantas y animales. Es así, que la integración a nuevas disciplinas se inicia con ejemplos desde la Astronomía y la Biología.

Aportes complementarios de Calderón y Gil (2007), Calderón, Núñez, y Gil (2009a, 2009b) y Calderón, Núñez, y Gil (2010) y Núñez (2008) propusieron potenciar el uso de la cámara digital como instrumento de medición en su modo video. Son muchos los ejemplos que muestran que la creatividad, ingenio y aspectos transversales de trabajo en el laboratorio se magnifican con la propuesta que puede ser realizada no solo en un laboratorio convencional sino en cualquier lugar y momento. Los trabajos anteriores fueron coordinados por Gil (director de tesis de los anteriores). Todos ellos presentan un enfoque constructivista de la enseñanza, estimulante para docentes y estudiantes, de fácil realización y con muchas de las facetas de la investigación científica.

Inmediatamente, se promueve más el concepto de laboratorio de bajo costo incluyendo la tarjeta de sonido de la PC para realizar experimentos de propagación de ondas en tubos. Varios ejemplos de su inclusión genuina se desarrollan para diferentes temáticas de mecánica y ondas: caída libre, efecto Doppler, velocidad del sonido, instrumentos musicales, entre otros. Hasta este momento existen diferentes propuestas hilvanadas por el concepto de TIC que posteriormente se unen en una pieza única.

Calderón et al. (2015) realiza una síntesis de los laboratorios de bajo costo para diferentes asignaturas y con muchos puntos de contacto, en donde se amalgaman diferentes propuestas de proyectos. De forma económica y con la cámara digital, que en esos años era un “boom”, logra atraer a docentes y estudiantes a la ciencia. La tarjeta de sonido de la PC fue una extensión adicional que permitió conocer mucho sobre las ondas.

Hoy en día la cámara digital entró en relativo desuso en el público general y nuestros estudiantes. Esto está asociado a la aparición de los smartphones que en un

único equipo son capaces de conjugar las potencialidades anteriormente descritas con el agregado de sensores que funcionan con aplicaciones del modo que lo hace una interface. El smartphone actúa a cierto nivel como una interface de laboratorio.

Gil y Di Laccio (2017) contribuyen a la actualización de los laboratorios de bajo costo incluyendo el smartphone como herramienta de medición para el aprendizaje. El smartphone como un instrumento de medición y aprendizaje incorpora los tres elementos usados por Gil en sus investigaciones. El smartphone reúne en un único dispositivo la cámara fotográfica, diferentes sensores (luz, aceleración, sonido, campo magnético, etc.) y aplicaciones que complementan y magnifican el fotograma, el video y la tarjeta de sonido vistos en forma constructivista en las ideas y pedagogía de Gil.

El smartphone permite tener a nuestro alcance una herramienta de medición para el laboratorio que puede ser usada para enseñar. Muchos estudiantes tienen en su poder esta poderosa herramienta de estudio, que pueden utilizar en cualquier momento ante diferentes circunstancias y en diversos lugares, ofreciendo a los estudiantes, versatilidad, oportunidad y accesibilidad, pudiéndolas usar tanto en la escuela secundaria, en su casa, o donde y cuando quieran. En otras palabras, disponer de una herramienta personal que le permite experimentar, solo con el hecho de querer hacerlo y sin necesidad de un laboratorio ni de aparatos (Di Laccio y Gil, 2016, p.8; PhoneLabs, 2016; Ambrosio, 2016; Kuhn y Vogt, 2013).

La inclusión de smartphones así como otras tecnologías afines no mejorarán por sí solas y en forma automática el modo de educar a los estudiantes; tampoco constituirá la forma de prepararlos mejor para enfrentar los desafíos de las sociedades actuales. Por el contrario, sin un enfoque pedagógico adecuado, sin un diseño y planificación, que solo los docentes podemos brindarles, puede ser hasta inocuo y contraproducente. Por esto, es necesario apropiarse críticamente de las tecnologías que hoy tenemos a disposición y evaluar nuestras propuestas de enseñanza y aprendizaje para evitar utilizarlas como un simple juego o moda. La propuesta de Gil y Di Laccio (2017) han sido probadas en diferentes contextos, en talleres con estudiantes de profesorado y en un curso de Física 1 de nivel universitario teniendo buenas aportes al aprendizaje y la

motivación (Di Laccio, Rodríguez y Gil, 2017; Di Laccio, Narbono, Zorrilla, Pérez, 2017; Rodríguez y Di Laccio, 2017).

¿En qué potencia el smartphone al laboratorio de bajo costo?

Lo potencia desde un inicio, debido a que esta herramienta es cada vez más prevalente en la sociedad y los estudiantes en su mayoría cuentan con ella. Es útil para realizar diversos experimentos sin la necesidad de contar con equipos costosos y de un laboratorio tradicional. Destaca entre sus características, la capacidad para medir con buena precisión. Si se dispone de diferentes aplicaciones (App), que se pueden bajar en forma gratuita desde la Play Store para los sistemas Android, es posible usar los sensores que trae incorporado el equipo. Algunas App, a modo de ejemplo, son: Frequency Sound Generator, Smart Measure, Physics Toolbox, Androsensor, Camera Ruler, Angle Meter, Science Journal, ON Distance, entre otras. Todas estas aplicaciones sirven para medir diferentes magnitudes físicas como longitudes, aceleraciones, velocidades angulares, iluminación, proximidad, nivel de sonido, campo magnético, etc. o emitir tonos muy definidos. Cada una presenta una breve explicación, dada por su diseñador, para su correcto uso. Es recomendable que el usuario atienda las indicaciones del diseñador para lograr un correcto manejo y experimente con ellas para sacarles el mejor provecho.

Una de las aplicaciones que es muy útil para la enseñanza básica es Androsensor, en una única App se pueden acceder a mediciones de múltiples magnitudes de interés (Asim, 2015).

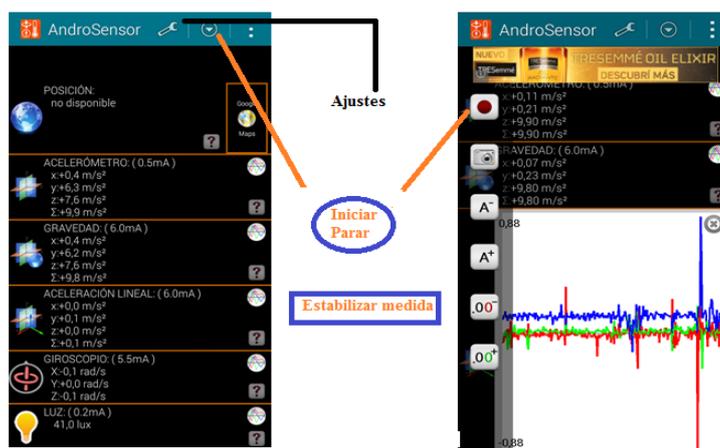


Figura 2 Aplicación Androsensor activa. A la izquierda sensores activos y a la derecha se activa la visualización gráfica.

En la figura 2 se presenta una vista de la aplicación activa y algunas de las magnitudes que es capaz de medir: iluminación, velocidad angular, aceleración, posición entre otras. Su manejo es muy sencillo y su configuración se realiza de igual

forma que con cualquier interface, se define el período de muestreo, las magnitudes a medir y se inicia la recolección. Los datos pueden usarse para un análisis cualitativo o cuantitativo. Para este último tipo de análisis se guarda en la memoria del teléfono un archivo de extensión .csv que se puede cargar en cualquier analizador de datos.

Los smartphones tienen asociados a su carcasa los ejes cartesianos, tal como se muestra en la figura 3, dadas la dirección y los sentidos de x e y se obtiene fácilmente el eje z mediante la regla del tornillo de rosca derecha o regla del tirabuzón (Countryman, 2014). Estos ejes son a los que hacen referencia las magnitudes de tipo vectorial (dirección y sentido) tales como lo son la aceleración, campo magnético o velocidad angular. Otras magnitudes como velocidad, posición, etc. pueden construirse. A partir de las



Figura 3 Smartphone y ejes solidarios a la carcasa.

componentes cartesianas de la aceleración $(a_x(t), a_y(t), a_z(t))$ y las condiciones iniciales, $\vec{v}(0)=(v_{0x}, v_{0y}, v_{0z})$ y $\vec{r}(0)=(x_0, y_0, z_0)$, es posible construir las funciones velocidad y posición como funciones del tiempo.

Para un caso unidimensional, por ejemplo en el eje x , la velocidad y posición en función del tiempo se construye con las condiciones iniciales de velocidad $(v_x(t_0))$, posición $(x(t_0))$ y el período de muestreo $(T_{muestreo})$.

$$v_x(t_1) = v_x(t_0) + a_x(t_0)T_{muestreo} \quad (1)$$

Obtenido el resultado de la ecuación (1), en el siguiente período tenemos:

$$v_x(t_2) = v_x(t_1) + a_x(t_1)T_{muestreo} \quad (2)$$

A partir de la ecuación (2) generamos la siguiente y así sucesivamente. De forma general:

$$v_x(t_{i+1}) = v_x(t_i) + a_x(t_i)T_{muestreo} \quad (3)$$

Para obtener la posición en función del tiempo, el procedimiento es similar al anterior, se parte de la velocidad generada y la posición inicial, x_0 :

De forma general:

$$x(t_{i+1})=x(t_i)+v_x(t_i)T_{\text{muestreo}} \quad (4)$$

con $i=0,1,2,\dots,N$, siendo N el enésimo dato. Los procedimientos anteriores se pueden implementar fácilmente en una hoja de cálculo (Garrao, 2007, p. 19-23).

Pero las posibilidades que ofrece el smartphone no se limitan a su cámara fotográfica, ni a las aplicaciones que pueden descargarse; pueden agregársele accesorios como por ejemplo la cámara termográfica.

La cámara termográfica: accesorio para el smartphone

La cámara termográfica FLIR ONE (FLIR Systems, 2017) es un accesorio para teléfonos inteligentes con sistema IOS o Android. La cámara se detecta con el smartphone a través de una aplicación que se llama FLIR ONE, que es de descarga libre en Play Store para los sistemas Android. Esta aplicación facilita la captura de imágenes térmicas de diferentes situaciones de interés, que con una adecuada interpretación, aumenta la significatividad de los aprendizajes de los estudiantes.

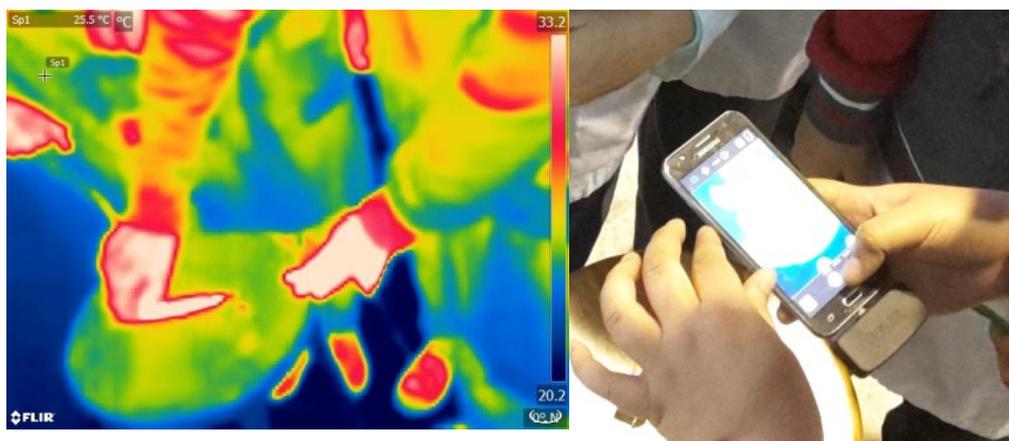


Figura 4 A la derecha smartphone con cámara termográfica. A la izquierda imagen tomada con la cámara termográfica al escribir con una goma sobre un banco de madera.

Varios autores presentan propuestas de inclusión de la cámara termográfica para la enseñanza de las ciencias en diferentes niveles educativos (de Prada Pérez de Azpeitia, 2016; Haglund, Fredrik, Hedberg & Schönborn, 2015; Xie, 2012; Hernández, Silveira, Di Laccio A., Di Laccio F. y Di Laccio J., 2017).

Este equipamiento tiene varias aplicaciones, al alcance de nuestros estudiantes, y ayuda a la comprensión de fenómenos de transferencia de calor que tradicionalmente se explicaban de forma teórica. Los estudiantes necesitan un acto de fe en lo que informa el docente sobre muchos de estos procesos, situación que puede cambiarse si se realizan experimentos sencillos que conjugan imágenes y programas gratuitos que posibilitan análisis cualitativos y de ser necesario cuantitativos. En la figura 4 se muestra una fotografía tomada con un smartphone con el accesorio de la cámara termográfica. A la izquierda la imagen tratada con el programa de análisis cuantitativo y a la derecha el smartphone con la cámara conectada. Es importante destacar que el uso del smartphone no está libre de que este sufra golpes y roturas por caídas al suelo, por lo que se sugiere que además de tomar las precauciones del caso, disponer de un envoltorio de amortiguamiento que lo proteja.

Aportes que influyen el pensamiento de Salvador Gil

Arnold Arons

Nació el 23 de noviembre de 1916 en Lincoln, Nebraska. Recibió su título de grado en 1937 y su maestría en ciencias químicas en 1940, ambos del Stevens Institute of Technology. Se doctoró en química física en 1943 en la Universidad de Harvard. En 1968 se une a la Universidad de Washington, Seattle-WA-EE.UU, donde inició un curso introductorio de ciencias físicas para los maestros de primaria. De 1969 a 1975, dirigió los institutos de verano para maestros de escuelas primarias y lo amplió para incluir a los profesores de Física de secundaria. Estableció un grupo de investigación en educación de la Física. Fue precursor en hacer tomar conciencia que los cursos de física introductoria, en su forma tradicional de enseñanza, suelen ser ineficaces para ayudar a los estudiantes a desarrollar la comprensión conceptual y las habilidades de razonamiento científico. Arnold sostuvo que había que escuchar atentamente a los estudiantes para detectar sus ideas erróneas y entenderlas. Fue un defensor del diálogo socrático en sus clases para promover el aprendizaje significativo en sus estudiantes.

Arons, frente a la enseñanza tradicional de la física de fines de los años 70, en donde el estudiante es principalmente un receptor pasivo de información, propone un método empírico basado en realizar preguntas concretas sobre el tema y escuchar atentamente las respuestas de sus alumnos. Su objetivo era, a través del diálogo socrático, detectar las dificultades de comprensión, obstáculos presentes en los alumnos para apropiarse de conceptos y procedimientos y también identificar errores de conceptos. En el entendido que, si somos capaces de identificar éstas dificultades se pueden generar propuestas e instancias de clases para favorecer el aprendizaje y comprensión. El enfoque defendido por Arons fue influenciado por las ideas de: Sócrates, Platón, Montaigne, Rousseau, Dewey, Whitehead y Piaget.

Analizando el enfoque de enseñanza de su propuesta, se visualizan al menos, cuatro componentes:

1. Realización de actividades experimentales con sistemas físicos concretos, en donde el estudiante tiene un rol activo.

2. El empleo de definiciones operacionales de conceptos, es decir en función de las operaciones necesarias para medirla. Por ejemplo: Temperatura: es una magnitud que se mide con un instrumento denominado termómetro. Fuerza: es toda causa capaz de producir deformación o cambio de velocidad.
3. La interacción estudiante- docente con retroalimentación continua a niveles cada vez más sofisticados.
4. El diálogo socrático, entendido como la realización de preguntas simples que orienten el razonamiento y posteriormente escuchar atentamente las respuestas. Para conocer lo que piensan los estudiantes y sus formas de razonamiento, es necesario escucharlos, brindándoles un tiempo de espera de respuesta suficiente. Realizar preguntas como: ¿Cómo sabemos esto? ¿Por qué esto es correcto? ¿Qué evidencias experimentales puedes aportar a tu afirmación? ¿Cómo llegas a esa conclusión? ¿Qué pasaría si...? ¿Por qué es importante? Son cuestionamientos que contribuyen a desarrollar el pensamiento crítico en los estudiantes, mientras que permite evidenciar a través de sus respuestas algunas características de su comprensión, conceptos erróneos, obstáculos para su aprendizaje, etc.

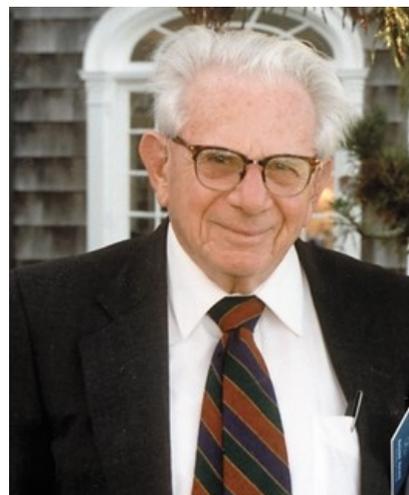


Figura 5 Arnold Arons, nació el 23 de noviembre de 1916 en Lincoln, Nebraska. Recibió su título de grado en 1937 y su maestría en ciencias químicas en 1940, ambos del Stevens Institute of Technology. Se doctoró en Química Física en 1943 en la Universidad de Harvard.

En la figura 5 se presenta a Arons, se une a la Universidad de Washington a partir de 1968 y producto de esa interacción y trabajo con maestros y profesores detecta las deficiencias en los métodos de enseñanza. Es a partir de ese momento que de forma sostenida comienza a buscar acciones tendientes a mejorar la eficacia de la enseñanza (Arons, 1990).

Según Richard Hake (2015), el método defendido por Arons puede ser eficaz en un amplio espectro de niveles educativos: formación de maestros, en la enseñanza media, para estudiantes de ciencias e incluso para estudiantes de profesorado sean o no de ciencias. Hake fue uno de los seguidores y divulgadores del enfoque de Arons. Luego de intercambiar, estudiar y analizar muchos de los trabajos de Arons (conversaciones e

intercambio de opiniones, artículos, libros, etc.) propuso una lista, ni exhaustiva ni cerrada, con once características principales del método desarrollado por Arons:

1. Entendimiento conceptual
2. Conocimiento operativo
3. Participación interactiva en lugar de exposición didáctica
4. Diálogo socrático
5. Atención al desarrollo cognitivo
6. Atención a los preconceptos de los estudiantes
7. Definiciones operacionales
8. Reducción del ritmo de los cursos introductorios estándares
9. Ideas primero, el nombre después
10. Importancia de la línea de historia del curso
11. La ciencia como las humanidades o arte liberal

Arons fue, por un lado un adelantado, al plantear las problemáticas de la enseñanza y las deficiencias en el aprendizaje, y por otro un crítico de la forma de enseñanza de su época y contexto. Su planteo de abandonar la enseñanza tradicional, con un estudiante pasivo, para colocarlo en un rol protagónico es un aporte singular para mejorar la eficiencia del aprendizaje, al que si se lo acompaña de propuestas atractivas, fundadas y movilizadoras, pueden provocar un cambio sustancial en el estudiante. El acento en el trabajo experimental de laboratorio, el escuchar a los alumnos, el generar preguntas de desafío al estilo socrático, conjuntamente con su método empírico de reconocimiento de patrones de pensamiento y razonamiento de los estudiantes sembró sólidas bases que permiten hoy, a diferentes investigadores en enseñanza de las ciencias, profundizar el enfoque (McDermott, Wilson & Jossem, 2001).

Lillian McDermott

Es profesora de Física y directora del grupo de investigación en enseñanza de la Física de la Universidad de Washington, Seattle-WA-EE.UU. Universidad en donde A. Arons desarrollara su enfoque de enseñanza. Se doctora en Física nuclear experimental en la Universidad de Columbia en 1959. Ha sido galardonada con la Medalla de Newell Melba Phillips 2013 por la Asociación Americana de Profesores de Física (AAPT), por

su dedicación a la enseñanza de la Física, sus trabajos de investigación y aportes a la Escuela Primaria, Secundaria, y Formación de Maestros de Escuelas Secundarias, ver figura 6. Realiza estudios de investigación en enseñanza de Física que se relacionan con la comprensión del estudiante en temas específicos de física básica. Busca identificar y analizar las dificultades conceptuales y de razonamiento que son comunes en los alumnos para desarrollar propuestas concretas y fundadas de enseñanza, con sólidos fundamentos que ayuden a resolver esos problemas detectados.

Su línea principal de investigación es en el campo de la física introductoria, en el que algunos de los temas que incluye son: mecánica clásica, física térmica y estadística, relatividad especial, mecánica cuántica y electrónica. Los resultados de sus investigaciones los usa como insumo para la elaboración de planes de estudio (tutoriales) tendientes a mejorar la eficacia del aprendizaje del estudiante. La evaluación continua del aprendizaje de los estudiantes es una parte integral de su enfoque de enseñanza y es atendida en todo el proceso. Sus tutoriales son muy útiles para generar oportunidades de trabajo en pequeños grupos a la vez que



Figura 6 Lillian McDermott

también pueden ser adaptados para clases masivas. El diseño de los tutoriales está pensado para que los estudiantes desarrollen su intelecto y logren una comprensión profunda de Física. Brinda a los estudiantes la oportunidad de examinar y discutir las ideas conceptuales subyacentes en los diferentes temas. Oportunamente una de las facetas de su trabajo también está orientada a que los docentes cuenten con recursos, sugerencias, apuntes, para la planificación de sus clases.

McDermott (2013) busca reducir la brecha que existe entre lo que como docentes enseñamos y lo que aprenden nuestros estudiantes. Entiende que para reducir esta brecha, que no siempre es reconocida por los docentes, no basta con investigar la comprensión del estudiante y aplicar los resultados de investigaciones a una nueva propuesta de enseñanza sino que debemos evaluar además el efecto que produce nuestra propuesta sobre el aprendizaje. Reconoce que la medida habitual de la eficiencia de la enseñanza es el éxito en la resolución de problemas pero que esto no basta para

asegurarnos del logro de objetivos de una comprensión profunda. Muchas veces nuestros estudiantes llegan a resultados correctos pero esto no nos asegura que sus razonamientos también lo sean.

En sus trabajos presenta algunas posibilidades o formas de llevar adelante una investigación acerca de la comprensión de los estudiantes sobre un determinado tema de forma rigurosa, haciendo un doble chequeo de los aprendizajes: por un lado si resuelve bien y por otro si las justificaciones de lo realizado involucra razonamientos correctos. Es decir, cotejar el grado de ajuste entre una respuesta correcta y un razonamiento que sostenga la respuesta, en el entendido de que una respuesta correcta no siempre va acompañada de un razonamiento en el mismo sentido (O'Brien Pride, Vokos & McDermott, 1998).

Supongamos que enseñamos el tema X y queremos saber si nuestros objetivos de enseñanza se han traducido en aprendizaje de los estudiantes. Una manera habitual de chequearlo es usando una prueba o test, digamos la resolución de ejercicios como en un típico examen de Química o Física de los últimos años de secundario. Demos un paso más en las suposiciones y pensemos que el 75% tiene un rendimiento satisfactorio. ¿Se traduce esto en que el 75% de los estudiantes tiene un razonamiento correcto para llegar al resultado buscado? La respuesta, basada en nuestra experiencia, nos dice que es muy poco probable. Para buscar una comprensión profunda debemos refinar la evaluación de forma que nos permita ver las particularidades dentro de la generalidad.

McDermott, en su método de investigación desde la disciplina parte de una prueba concreta, digamos el planteo para su análisis de una situación problema. Esta prueba permite un sondeo inicial y general de los conocimientos de los estudiantes. Esta situación necesita para ser explicada por los estudiantes de la utilización de ciertos principios de la disciplina, que son los que se quiere saber si han aprendido. En su refinamiento de la evaluación del aprendizaje de los estudiantes, utiliza la entrevista para ver si las respuestas brindadas, correctas o incorrectas, se corresponden con la explicación dada por la estudiante, entrevista que es realizada mediante preguntas del estilo socrático. Generalmente este tipo de intervención permite ver mejoras en el entendimiento de los estudiantes así como también que las respuestas exitosas no

necesariamente corresponden a razonamientos correctos. Esta etapa es muy importante para poder detectar razonamientos erróneos.

Las indagaciones anteriores llevan, muchas veces, a la necesidad de desarrollar tutoriales, que tienen como objetivo complementar a las clases regulares para atender a los errores de conceptos, razonamientos defectuosos, entre otros. Los tutoriales, no remplazan las clases ni libros de texto que se usan habitualmente en los cursos, sino que son un recurso para favorecer el aprendizaje profundo.

El sistema de tutorías consiste en: pruebas preliminares, hojas de trabajo, tareas, exámenes del curso, y un seminario semanal. La estrategia de enseñanza de los tutoriales se pueden resumir en tres pasos: obtener, enfrentar y resolver. La extensión del tiempo de tutoría depende de cuán graves son las dificultades que son detectadas en los estudiantes. Cuanto más grave sea la dificultad, más sesiones deben desarrollarse.

Los aprendizajes profundos se obtienen cuando las respuestas correctas a los problemas son acompañadas de razonamientos correctos, convirtiéndose en profundos y significativos. Las evaluaciones en profundidad requieren de al menos dos ingredientes, la respuesta correcta y los fundamentos de la misma ya sea a través de la explicación cualitativa o el uso de ecuaciones. El criterio entonces es: respuesta correcta si la explicación correspondiente también es correcta, si el razonamiento es erróneo la respuesta es incorrecta.

Los tutoriales y desarrollo de tutorías son adecuados no solo para los alumnos sino que también son un recurso útil para la formación de docentes. Generalmente dentro del cuerpo docente existen diversos niveles de formación y diferentes maneras de encarar el logro de objetivos, aunque esto no siempre está acompañado de investigaciones que permitan visualizar patrones repetitivos en nuestros alumnos. Es más, muchas veces se repiten estrategias que son poco efectivas para el logro de objetivos basadas en experiencias personales y no construidas como colectivo, a partir del análisis y reflexión de estudios rigurosos. Los tutoriales, realizados atendiendo a la investigación y refinados en su elaboración, ayudan a que los docentes se enfoquen en desarrollar las formas que más favorezcan las necesidades del alumno y no

necesariamente las que le resulten más cómodas. En este sentido los tutoriales colaboran también con la formación docente.

En la figura 7 se presenta un esquema con seis elementos de interpretación propia de la estrategia de investigación de Lillian McDermott para desarrollar un aprendizaje profundo en temas de física. Este esquema no es único, es solo una posible interpretación personal que trata de mostrar que un resultado correcto no implica un razonamiento correcto, a la par de sugerir la complejidad de la evaluación de aprendizajes y la necesidad de procedimientos rigurosos para la toma de decisiones de los mejores enfoques de enseñanza.

Sondeo inicial de los conocimientos de los estudiantes mediante Test generales.

- Entrevistas para chequear si las respuestas coinciden con las explicaciones brindadas por el estudiante.

A partir de los dificultades detectadas elaboración de tutoriales para los estudiantes.

- Preparación de los docentes en el uso de los tutoriales.

Enseñanza usando los tutoriales y evaluación continua de los estudiantes y del propio tutorial.

- Refinamiento del tutorial para la obtención de mejores resultados de aprendizaje.

Figura 7 Interpretación de un posible esquema que usa Lillian McDermott para definir su método de investigación en enseñanza.

Arons, McDermott y Gil

Un hecho notable es que Arons, McDermott y Gil, con sus matices y particularidades, forman o formaron parte de la Universidad de Washington, Seattle-WA-EE.UU, en donde Arons comenzó sus primeros trabajos en enseñanza de la física. Todos ellos son experimentados científicos que gran parte de su tiempo lo dedicaron a la valiosa tarea de buscar propuestas concretas para la mejora de la enseñanza y los aprendizajes de los estudiantes.

Arons y McDermott son referencias en la enseñanza norteamericana, mientras que Gil es referente en América Latina, en este enfoque al que ha desarrollado y promovido y adaptado a lo largo de los años. Parte de la inquietud de Gil por mejorar la enseñanza de las ciencias se inicia en Estados Unidos, mientras cursaba su doctorado

en la Universidad de Washington. La inmersión en ese contexto de tan importantes cambios en lo educativo fueron movilizados para él, y por lo tanto inspirador de acondicionar y extrapolar lo vivenciado a su contexto.

Estos tres autores, Arons, McDermott y Gil, plantean una metodología alternativa que tiene mucho que ver con su bagaje de conocimiento y sus experiencias profesionales. El ser científicos, los llevo a pensar en su propia forma de cognición, para de esa manera comprender como aprenden sus estudiantes. La misma se centra en la inmersión en el contexto a investigar y muchas veces en una interacción cercana y profunda con el objeto a investigar. Valoran el conocimiento descubierto y fruto de una hipótesis y experimentación a través de sus sentidos y con el uso de las herramientas que el método científico ofrece. Observar, experimentar, equivocarse, aprender y desaprender algunas cosas son experiencias personales intransferibles que no podrían más que generar una propuesta metodológica que fuera basada en el estudiante, analizar, debatir, discutir, disentir o polemizar con el otro con argumentos para defender una postura o una solución también formaron parte de su formación como científicos. El estudiante es quien debe vivir esos procesos para poder conocer la ciencia de manera vivencial.

Si bien la experiencia para el estudiante en su trayecto formativo es fundamental cómo y dónde adquiere esa experiencia, nos interpela acerca de si nuestro sistema educativo dispone del aula acorde a esta propuesta. Será necesario redimensionar el aula, siendo el aula invertida una propuesta posible.

Aula invertida

La clave de este enfoque es el aprendizaje del estudiante, que implica cambiar elementos del aula tradicional como exposiciones docentes, por un conjunto de actividades que pueden ser individuales pero por sobre todo en donde la interacción entre pares, mediante discusiones en grupos, es crucial (Mazur, 1997). Aprender con y del otro estudiante, promoviendo lo que Vygotski denomina zona de desarrollo proximal (Vygotski, 2001). Para esto, se utilizan diferentes estrategias: lecturas previas a la clase, videos, experimentos demostrativos, que sirven para que el estudiante se aproxime al tema. Luego viene una etapa de aseguramiento de los trabajos previos. Para

esta etapa o para desarrollar la clase y que los estudiantes puedan discutir, es posible incluir un sistema de votadores (clickeras o clickers).

Con este método de aprendizaje los docentes son capaces de conocer los temas que el estudiante comprende o no y dirigir sus esfuerzos a lo realmente es medular del contenido. Algunas de las características de los sistemas de votación son:

1. Motiva el estudio previo a la clase
2. Aumenta el nivel de atención y participación en clases
3. Sirve para registrar la asistencia de los estudiantes de forma automática
4. Permite la evaluación para el aprendizaje
5. Auxilia a identificar los conceptos que son más difíciles para los estudiantes
6. Permite la evaluación para acreditación de conocimientos
7. Facilita la participación de los estudiantes en contexto de masividad
8. Contribuye al trabajo en equipo
9. Es adecuada para generar discusiones grupales.

A continuación se realiza una descripción de las generalidades de los votadores, para su configuración y uso por parte de principiantes. En el mercado existen diferentes proveedores de sistemas de votación con características similares.

Votadores Digitales

Los votadores digitales de radio frecuencia (RF) son un sistema digital de votación, ejecutado mediante archivos Power Point. El sistema dispone de dos tipos de control remoto, uno para el docente y otro para los estudiantes que interactúan con el receptor de señal, ver figura 8.

El control remoto del docente tiene la función de administrar el sistema: iniciar y cerrar una actividad, ver resultados en

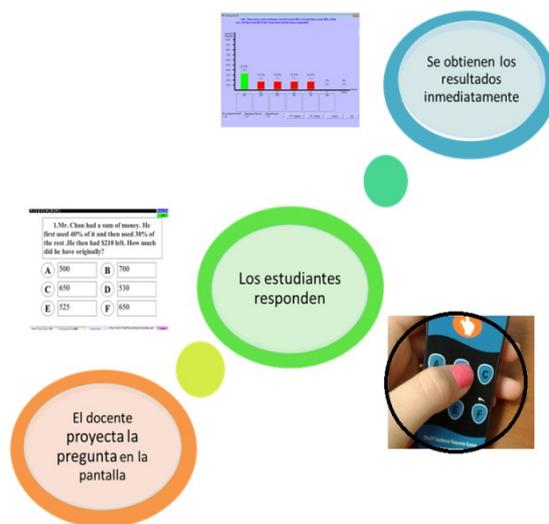


Figura 8 Docente y estudiante pueden interactuar con el receptor. En la pantalla se pueden apreciar los resultados

remoto del estudiante le permite participar de la clase con diferentes opciones: “levantar la mano” y opciones de alternativa (A, B, C, D, E, F) ante una pregunta. Toda la actuación de los estudiantes queda registrada si el sistema ha sido configurado para tal fin. Un software de fácil configuración acompaña el sistema, el cual al ser instalado, permite registrar actividad tanto individual como grupal. Controlar asistencia, registrar internamente las respuestas de los estudiantes y el tiempo que les toma resolverlo, son actividades a las que se accede con él.

Los votadores son sistemas de respuesta personal o grupal a distancia que permiten obtener información al momento de las opiniones y aprendizaje de los estudiantes. En tiempo real, los estudiantes pueden intercambiar con el profesor o con sus pares mediante simples clic's. Para que lo anterior pueda realizarse el docente debe planificar con antelación a la clase un test de preguntas, y posibles respuestas. Estos test que utilizan archivos Power Point como base, consisten en cuestiones en las que los alumnos deberán optar por una respuesta para cada pregunta. De esta forma se obtienen pistas de cómo va siguiendo el tema cada estudiante, como va incorporándolo (Di Laccio, 2015).

El software que acompaña los votadores permite recolectar datos, almacenarlos, tabularlos y mostrar resultados inmediatamente. También permite un seguimiento de cada estudiante, como va realizando su proceso de enseñanza y de aprendizaje. Esto permite una retroalimentación fundada, un seguimiento a largo plazo del grupo así como de cada alumno, con lo que se logra una mejor orientación tanto individual como colectivamente.

Una posible estrategia didáctica para su uso consiste en:

1) Diseñar actividades previas a la clase por parte del docente y a través de plataformas o redes sociales asignarlas como tareas previas a los alumnos. Los estudiantes trabajan sobre las tareas fuera del aula y las entregan al docente el cual las corrige, retroalimenta y usa para planificar su clase presencial. Esto permite cuantificar los logros extra aula de los alumnos.

- 2) En la clase presencial el docente presenta los puntos medulares del tema (centrales y de mayor desafío) y evalúa a los estudiantes mediante preguntas de múltiple opción, usando los votadores.
- 3) Si la votación es satisfactoria, 70% responde bien, se introduce un nuevo concepto, de lo contrario se pasa a discusiones en pequeños grupos (2 alumnos) para revisar las respuestas brindadas.
- 4) Luego de la discusión en pequeños grupos, se realiza una nueva votación y se decide que acción tomar: volver a explicar por parte del docente o ir a un nuevo concepto. Esto depende de los aciertos encontrados en la nueva votación.

Algunos resultados detectados en nuestra experiencia docente son: mayor atención en clase, participación e involucramiento, mejora del lenguaje de la disciplina, el clima de aula se hace más ameno, se promueven mayores vínculos docente- alumnos y se despierta el hábito de estudiar antes de la clase (con lo que logra una mayor implicación del estudiante en su propio aprendizaje).

En esta modalidad de trabajo el docente transforma su rol convirtiéndose en un hábil diseñador de actividades, que contribuyen a los aprendizajes de sus alumnos, poniendo el foco en la evaluación formativa y en el trabajo activo de los estudiantes (Martínez-Olvera, Esquivel-Gámez, Castillo, 2014, p. 150).

Capítulo 3. Metodología

Investigar implica indagar, cuestionar, analizar, reflexionar, interpelar, interpretar, enfrentarse a cuestiones, problemas, dificultades, sorpresas y proponer posibles soluciones, intentar dar respuestas. La investigación permite profundizar impresiones, sensaciones, percepciones que se tienen de la realidad que se enfrenta en las aulas por ejemplo, y poder operar en ella, transformándola.

Estas cuestiones, se intentarán responder utilizando una aproximación de corte cualitativo. Para Sadín Esteban (2003), “La investigación cualitativa es una actividad sistemática orientada a la comprensión en profundidad de fenómenos educativos y sociales, a la transformación de prácticas y escenarios socioeducativos, a la toma de decisiones y también hacia el descubrimiento y desarrollo de un cuerpo organizado de conocimientos”.

El término cualitativa implica una preocupación directa por la experiencia como tal, cómo es vivida y percibida. Este estudio se enmarca en la investigación cualitativa, con carácter descriptivo e interpretativo dado que se busca describir e interpretar el escenario educativo, en el que participan estudiantes y docentes de Química y de Física de enseñanza secundaria, cuando en el aula se trabajan (enseñan) conceptos de Física moderna.

Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.7) expresan que “la investigación cualitativa se enfoca a comprender y profundizar los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con el contexto”. Es decir, “se busca comprender la perspectiva de los participantes”, en este caso los alumnos y docentes de Química y Física de enseñanza secundaria, “acerca de los fenómenos que los rodean, profundizar en sus experiencias, perspectivas, opiniones y significados”. Reconocer y analizar la implementación de la propuesta en el aula, permitirá identificar aspectos relativos a la metodología al enseñar conceptos de Física moderna a estudiantes de nivel secundario por parte de docentes de las asignaturas Física y Química.

Método y Técnicas

A continuación se realiza una breve descripción de los métodos y técnicas de este estudio:

Análisis documental

Se realiza el estudio de diferentes documentos provenientes de distintas fuentes: artículos, sitios web, libros, videos, tesis, programas de nivel terciario universitario y no universitario, programas de Física y Química de enseñanza secundaria, entre otros.

a) Buceo bibliográfico de referencia: se sistematizan diferentes fuentes de información disponibles en nuestro país y la región sobre enseñanza de la Física Moderna. Se estudian diferentes enfoques metodológicos de enseñanza para ver la posibilidad de ser incluidos. Luego del buceo y lectura de los materiales seleccionados se los agrupa de acuerdo a su relevancia para este trabajo y se analizan para disponer de ellos como insumo.

b) Programas de Física Moderna de nivel terciario

Se estudian los programas de:

- Introducción a la Física Moderna de Facultad de Ingeniería, este curso es de carácter opcional para las carreras de ingeniería. Para su cursado se deben tener aprobado el curso de Electromagnetismo o Vibraciones y Ondas.
- Física Moderna de Facultad de Ciencias, este curso corresponde a las licenciaturas de Física, Astronomía y Física Médica.
- Física Moderna de Profesorado de Física.

Para su estudio se construye la tabla 1 de operacionalización de variables. La misma se utiliza para orientar la búsqueda de informaciones, mediante el uso de algunos indicadores. La primera de las columnas presenta la variable definida, la segunda una definición operacional de la variable, la tercera los indicadores utilizados y la cuarta y última en que fuente se consulta.

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Lugar	Centro de dictado	Facultad Ingeniería Facultad de Ciencias Profesorado	Páginas de las facultades y del consejo de formación en educación
Destinatarios	Tipo de estudiante	Est. de Ingeniería Est. de Licenciatura Est. de profesorado	Programas fm
Objetivos	Propósitos que presenta el plan	Presenta No presenta	Programas fm
Pre-requisitos	Asignaturas que son previas o recomendadas.	Tiene No Tiene	Programas fm
Duración	Tiempo que dura el curso	Semestral Anual	Programas fm
Modalidad	Forma de cursado	Presencial Semi-presencial A distancia	Sistema único nacional de formación docente (SUNFD)2008 ¹
Metodología	Forma en que se desarrolla el curso	Teórico y práctico separado Teórico-práctico-experimental Teórico, práctico y experimental separados	Programas fm
Unidades	Unidades de agrupamiento de contenidos	Contenidos	Programas fm
Ubicación	Año de la carrera en que se ofrece el curso	Primero Segundo Tercero Cuarto	Programas fm
Evaluación	Forma en que se evalúan a los estudiantes	Continua y Sumativa Sumativa	SUNFD 2008 Plan de estudios de Lic. Física ² Plan de estudios FIng ³
Bibliografía	Conjunto de libros de texto recomendados	Relatividad Física cuántica	Programas fm

Tabla 1 Plan de análisis de programas universitarios.

Se observa que todos los programas presentan varios textos de referencias, se seleccionan tres de ellos como representativos. Los criterios de selección son: uno que cubra Relatividad Especial⁴ y el otro Física Cuántica, que sean comunes a los programas, que sean versiones en español, de relativo fácil acceso y que actualmente sigan siendo usados en los cursos. Los textos que cumplen los criterios son:

- French A. P. (1991). *Relatividad Especial*. España. Ed. Reverté.

¹ Disponible en: [SUNFD](#)

² Ver : [Plan Física FC](#)

³ Ver: [Plan Ingeniería Eléctrica](#)

⁴ FIng usa notas de elaboración propia que datan de 2003 y tienen el enfoque de Relatividad Especial de French.

- French, A.P, Taylor, E.F. (1982). *Introducción a la Física Cuántica*. España. Ed. Reverté.

Por otra parte se analiza el libro:

- Serway R.A., Moses C.J., Moyer, C. A. (2006) *Física Moderna*. México. Ed. Thomson 2006

Este libro está en uso en la actualidad en los diferentes cursos de física moderna y tiene un enfoque global, agrupa relatividad especial, física cuántica y sus aplicaciones en una única versión. Es un texto que se cataloga como “más didáctico para el estudiante” por su forma de presentar los temas, con ilustraciones y argumentos más que tediosos desarrollos matemáticos.

En la tabla 2, se presenta la operacionalización de las variables para el estudio de los textos.

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Temas	Agrupación de contenidos en capítulos del libro	Nombre del capítulo	Libros
Preguntas	Presenta preguntas al finalizar los temas	Presenta (número) No presenta	Libros
Ejercicios	Presenta ejercicios al finalizar los temas	Presenta (número) No presenta	Libros
Experimentos	Presenta propuestas de experimentos	Si No	Libros

Tabla 2 Operacionalización de variables para el estudio de los libros de texto principales.

c) Programas afines a física moderna en profesorado de química

Se analizan los programas de:

- De Física II y de Química General II de profesorado de química, ambos de segundo año de la carrera.

Se pone atención principalmente en los contenidos de física moderna, el enfoque metodológico y los tiempos sugeridos para desarrollar los temas que están presentes en el programa.

d) Programas de 2^{do} y 3^{er} de bachillerato de las asignaturas física y química de enseñanza secundaria

Se revisan los programas de:

- Química y física de 1^{er} de bachillerato del plan 2006.
- Química y física de 2^{do} de bachillerato del plan 2006, opciones: diversificación científica y biológica.
- Química y física de 3^{er} año de bachillerato de igual plan que los anteriores y opciones: físico matemático, ciencias biológicas y ciencias agrarias.

Para analizar los programas de secundaria se usa la tabla 3:

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Física moderna	Contenidos de física moderna	Tiene No Tiene	Prog. de f y q de sec.
Temas	Contenidos propuestos en los programas	En 1 ^{er} de bachillerato En 2 ^{do} de bachillerato En 3 ^{er} de bachillerato	Prog. de f y q de sec.
Porcentaje	Porcentaje de contenidos de fin sobre el total	% de física moderna	Prog. de f y q de sec.
Experimentos	Sugiere la realización de experimentos	Si No	Prog. de f y q de sec.
Metodología	Brinda sugerencias	Si No	Prog. de f y q de sec.
Física-Química	Temas a trabajar de forma conjunta o coordinada	Presenta No presenta	Prog. de f y q de sec.
Evaluación	Forma en que se evalúan a los estudiantes	Continua y Sumativa Sumativa	Prog. de f y q de sec.

Tabla 3 Operacionalización de variables para el estudio y análisis de los programas de secundaria.

Detenimiento en los contenidos de física moderna, en la tabla 4 se describe el plan de análisis.

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Rel. Especial	Contenidos que corresponden a los programas de f y q	Tiempo destinado/Tiempo total	Prog. de f y q de sec.
Introducción a la Física cuántica	Contenidos que corresponden a los programas de f y q	Tiempo destinado/Tiempo total	Prog. de f y q de sec.
Mecánica Cuántica	Contenidos que corresponden a los programas de f y q	Tiempo destinado/Tiempo total	Prog. de f y q de sec.
Física de Partículas	Contenidos que corresponden a los programas de f y q	Tiempo destinado/Tiempo total	Prog. de f y q de sec.
Radiactividad	Contenidos que corresponden a los programas de f y q	Tiempo destinado/Tiempo total	Prog. de f y q de sec.

Tabla 4 Análisis del tiempo destinado a los temas de física moderna según el tema.

e) Comparación entre programas

Luego de revisado y analizados los programas de los diferentes ámbitos, siguiendo el orden de los ítems a), b), c) y d), se procede a la comparación de algunos de los programas entre sí. La comparación inicialmente es global y luego se pone mayor detenimiento en: la correspondencia entre los contenidos, tiempos y metodologías propuestos para enseñanza secundaria y los propuestos en el nivel terciario. Se comparan además los contenidos propuestos en secundaria con los que son propuestos en la formación de profesorado de física y química atendiendo a si son cubiertos o no.

Encuestas a informantes claves

El criterio de selección de informantes claves fue el siguiente: docentes altamente calificados, con reconocida experiencia académica y que han participado de forma directa o indirecta de la enseñanza de la física moderna a nivel terciario, universitario y de formación docente-profesorado. Dentro de este marco se contactan a través de encuestas enviadas a través de correo electrónico a: docentes que han dictado el curso de física moderna en la formación de grado de su institución de referencia o dictan cursos que tienen incluidos temas de física moderna así como a coordinadores y ex coordinadores de física a nivel nacional. El número de informantes que han respondido a la consulta es de diez y se desempeñan en diferentes instituciones: Fac. de Ingeniería, Fac. de Química, Fac. de Ciencias y en el Consejo de Formación en Educación. La encuesta fue realizada en 2012-2013 y el instrumento usado tiene un conjunto de preguntas guía⁵.

El plan de análisis para abordar las respuestas se presenta en la tabla 5.

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Lugar	Centro donde se desempeña el informante clave	Fac. de Ingeniería Fac. de Química Fac. de Ciencias Formación Docente	Encuesta
Formación	Estudios especialista del	Dr. Mag. Experto Profesor de media	Encuesta
Enseña terciario	en Quien dictó el curso	Dicto el curso No dictó	Encuesta
Estrategias terciario	en Estrategias en clases de nivel terciario	-----	Encuesta
Enseñar secundaria	en Entiende que debe enseñarse bachillarto de secundaria	De acuerdo En duda de enseñar En desacuerdo	Encuesta
Temas	temas principales	-----	Encuesta

Tabla 5 Plan de análisis de encuestas.

⁵ En el Anexo 1: Encuesta informantes claves, se presenta el instrumento utilizado.

Elaboración de mini proyectos experimentales usando el concepto de laboratorio de bajo costo

Con los insumos del análisis documental, las encuestas a los especialistas anteriores y sobre la base del concepto de laboratorio de bajo costo, se diseñan un conjunto de mini proyectos experimentales para la enseñanza de física moderna en enseñanza secundaria. Estos trabajos introducen, innovaciones o ampliaciones a los laboratorios de bajo costo hasta ahora desarrollados por Gil. Uno de ellas es la inclusión del smartphone como herramienta de medición y aprendizaje (Gil y Di Laccio 2017). Además incorpora como accesorio para los smartphones la cámara termográfica potenciando ampliamente el uso de la cámara digital en modo fotografía y video. Algo novedoso de los mini proyectos experimentales es que buscan acercar al estudiante a conceptos de física moderna usando muchos conceptos que este ya conoce de cursos previos y fortalece el manejo de competencias transversales de trabajo en el laboratorio de ciencias.

El hilo conductor de los mini proyectos desarrollados es la cosmología del Big Bang ya que conocerla implica implícitamente manejar varios conceptos de física moderna (Di Laccio y Vitale, 2016) y esto se pretende con la globalidad de los mini proyectos. Por otra parte, cada mini proyecto en particular es autocontenido en su temática, lo que hace que se pueda usarse sin la necesidad de ver todo el conjunto si fuera necesario.

Algunos de los mini proyectos experimentales se presentaron en diferentes instancias: congresos, jornadas, seminarios, muestras, reuniones, entre otros. La técnica de análisis y refinamiento de las propuestas se debe principalmente a la retroalimentación de los participantes de estas jornadas. A continuación se enumeran algunos de los eventos en donde se compartieron:

- 1^{er} Congreso internacional de la Ciencia Básicas en modalidad de póster y en modalidad taller (2016).

- 101° Reunión Anual de la Asociación de Física Argentina. Convocatoria organizada por la Universidad Nacional de Tucumán y la Asociación Física Argentina (2016).
- Muestra de Experiencias Didácticas de Física realizada en la ciudad de San Miguel de Tucumán, en el marco de la muestra educativa provincial EDUCATEC (2016).
- Reunión Anual de la Sociedad Uruguaya de Física. Smartphone una herramienta de laboratorio para el aprendizaje (2016).
- 2^{do} Congreso internacional de la Ciencia Básicas en modalidad de póster: Actividades experimentales con teléfonos inteligentes en Curso de Física I.

Pilotaje de algunos de los ejemplos concretos de enseñanza en 3^{ero} de bachillerato

Para testear en el contexto de secundaria y en cursos de física y química se solicitó a dos profesores de grado 3, en el escalafón de su asignatura en secundaria, uno de física y otro de química que aplicarán en uno de sus grupos de 6^{to} año (3^{ero} de bachillerato) un mini proyecto experimental cada uno. Esto se llevó a cabo durante el segundo semestre de 2016. Los docentes involucrados participaron previamente de cuatro reuniones, cada una de aproximadamente 80 minutos, en donde se informa de la propuesta y se discuten los mini proyectos experimentales. Luego se coordinó, las fechas y número de horas para desarrollar las clases.

Los proyectos experimentales seleccionados por los docentes fueron: Ley de la inversa del cuadrado (cuya versión actual está en la sección Nociones de física moderna a través de preguntas y se llama: ¿A qué distancia encontramos las galaxias?) y Decaimiento de la espuma de cerveza (versión actual: ¿Qué es el decaimiento radiactivo? ¿Cómo puede ser explicado?) (Di Laccio, Vitale, 2016) (Di Laccio, Rodríguez y Gil, 2017), (Gil, Di Laccio, 2017). Como materiales complementarios para los docentes se les entregó: a) la versión inédita de un artículo “Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias” (Gil, Di Laccio, 2017) en donde se explicaban los experimentos, b) una hoja de cálculo a cada uno con lo que se esperaba lograsen los estudiantes al trabajar grupalmente en el experimento y c) una propuesta de evaluación.

Uno de los aspectos centrales de la intervención fue indagar: los resultados de los trabajos realizados por los estudiantes y la opinión de los docentes al desarrollar este tipo de trabajo. El rol del investigador es participante pero no totalmente (participante-observador) ya que se encarga de sensibilizar a los docentes con los mini proyectos pero no de aplicar las propuestas.

Los dos grupos expuestos a la intervención son un 6^{to} de opción Medicina de siete integrantes ($n_1=7$) y otro de orientación Ingeniería de ocho integrantes ($n_2=8$). Dichos grupos han sido expuestos durante la parte anterior del curso, a la enseñanza

tradicional: clases teóricas con exposiciones docentes, resolución de ejercicios y actividades experimentales por separado.

En la implementación, los estudiantes guiados por sus docentes, desarrollaron un mini proyecto experimental utilizando el concepto de “laboratorios de bajo costo” (Calderón et. al, 2015). Durante el avance del trabajo de aula se fueron evaluando los aprendizajes con evaluaciones individuales y grupales.

Trabajos de los estudiantes⁶

Los trabajos de evaluación propuestos para los estudiantes fueron en dos modalidades: grupales e individuales. Los trabajos grupales solicitados fueron:

- La entrega de la hoja de cálculo (Excel o Calc), elaborada por el grupo de estudiantes durante el mini proyecto, procesamiento de los resultados experimentales. Este trabajo es monitoreado por el docente, quien sugiere diferentes herramientas para organizar los datos, graficarlos, ajustarlos usando líneas de tendencia, etc.
- El segundo trabajo grupal es domiciliario, a partir de cinco preguntas, realizar una narrativa del experimento. Orientada a conocer que es lo que el grupo detecta sobre sus aprendizajes.

Los trabajos individuales fueron ambos presenciales:

- El primero hace referencia a contenidos teóricos que el docente debería involucrar a lo largo de la propuesta y que colaboran a contextualizar el mini proyecto experimental.
- El segundo es un trabajo de procesamiento de datos experimentales en donde deben usar las habilidades practicadas en la elaboración de la hoja de cálculo.

La evaluación fue corregida por los docentes con la escala de calificación habitual y la retroalimentación que se venía desarrollando en el curso hasta el momento. Es de notar que uno de los aspectos que se dejaron libres, de forma intencional, fue la calificación de los trabajos así como la retroalimentación a los estudiantes.

⁶ Ver el anexo 2: Propuesta de intervención para más detalles.

Para el análisis de los trabajos de los estudiantes se utiliza la tabla 6:

Variable	Definición operacional	Indicador	Fuente de verificación
Grupal	Tareas realizadas en grupos	Logrado	Trabajos entregados
		No logrado	
		Con dificultades	
Individual	Tareas realizadas individualmente	Logrado	Trabajos entregados
		No logrado	
		Con dificultades	
Evaluación	Forma en que la tarea es corregida	Retroalimentación formativa	Trabajos entregados
		Penalización	

Tabla 6 Variables para el estudio de los trabajos de los estudiantes.

Entrevista a los docentes

Al finalizar la intervención se entrevistaron a los docentes con preguntas semi-estructuradas (Seidman, 2006) en forma escrita a lo cual accedieron y enviaron las respuestas. Dichas entrevistas contaban de tres preguntas en donde se les pedía una descripción de la experiencia de haber trabajado con la propuesta, una valoración de la experiencia respecto a la enseñanza de forma tradicional y una opinión de cómo el estudiante puede beneficiarse luego de pasar por la experiencia. En el anexo 2 se presentan las actividades propuestas a los estudiantes y las preguntas realizadas a los docentes.

Las entrevistas a los docentes fueron procesadas mediante el programa NVivo. NVivo es un software útil para la investigación con métodos cualitativos y mixtos (NVivo, 2017; Software Shop, 2017). Permite organizar, analizar y encontrar informaciones en datos cualitativos como: entrevistas, encuestas, artículos, contenidos de la Web, etc..

Se construyeron los nodos de la tabla 7 para el análisis.

Nodo	Definición operacional	Fuente de verificación
Tradicional	Aspectos de la forma habitual de enseñanza en el curso.	Encuesta docente
Motivación	Atractivo de la experiencia que lleva a los estudiantes a involucrarse de forma natural	Encuesta docente
Apertura e Innovación	Potencial de uso de la propuesta y/o nuevas modificaciones y/o nuevas formulaciones.	Encuesta docente
Relación con la teoría	Percepción de que los estudiantes conectan los conocimientos teóricos con los obtenidos en el proyecto experimental	Encuesta docente

Tabla 7 Nodos generados para analizar las encuestas de los docentes.

Cap. 4 Resultados y discusiones

Análisis documental

Programas de física moderna de nivel terciario y/o universitario

En Uruguay, las instituciones educativas en las que se dicta la asignatura física moderna son: las facultades de Ingeniería (FIng-UdelaR) y de Ciencias (FCien-UdelaR) y el Profesorado de física (CFE). Los destinatarios principales de estos cursos son futuros: ingenieros eléctricos, licenciados de física, astronomía y física médica y profesores de física para educación media. Asimismo, en la formación de profesores de química de educación media (CFE) se detecta que en los cursos de física II y en química general 2 existen algunos contenidos de física moderna que si bien no son medulares en los programas, sirven como sostén para el desarrollo de los mismos.

Tanto en los programas de FIng y de profesorado se presentan objetivos explícitos pero no en el de FCien. En el programa de ingeniería se busca que el “curso permita comprender algunos elementos de la física subyacente a la Ingeniería Eléctrica. (...) fomentar en el joven la reflexión sobre ideas fundamentales de la física del siglo 20” FING (2012, p.1) Mientras tanto en profesorado de física se presentan tres grandes objetivos: “Comprender las limitaciones de la física clásica”, “Entender el desarrollo histórico de las nuevas teorías y el entramado entre ellas, los resultados experimentales” y “Apropiarse del concepto de que un mismo fenómeno puede explicarse en función de diferentes modelos de acuerdo, según las experiencias en las que es analizado y según se verifiquen unas u otras hipótesis” (CFE, 2008, p.1).

Independientemente del ámbito de enseñanza, en todos los cursos se solicitan como pre-requisitos de cursado la realización de cursos de física y matemática a nivel básico. La duración de los cursos a nivel de la universidad es de un semestre y en el caso del profesorado de un año. Esto parece estar vinculado a los objetivos propuestos. Los cursos se brindan en la modalidad presencial, aunque en FIng los estudiantes pueden seguir el curso a través de un sistema de videos: Open FIng (Facultad de Ingeniería, 2015). Este sistema es un repositorio de los teóricos del curso en formato de video y su acceso es libre. Los estudiantes deben de cumplir con el requisito de asistir a

las evaluaciones que son presenciales. En profesorado de física se puede cursar en diferentes modalidades: presencial, semilibre y semipresencial. Dependiendo de la modalidad el estudiante tendrá mayor o menor contacto personalizado con el docente pero en todos los casos las evaluaciones deben realizarse de forma presencial, ya sea parcial o examen.

Los cursos de FIng y FCien se estructuran con clases de teóricos y prácticos por separado. En FIng son 4 horas de teórico y 2 de práctico durante 14 semanas, en FCien son un total de 75 h divididas en 45 h de teórico y 30 de práctico, para el profesorado de física no existe la división formal de teórico y práctico pero el programa sugiere una relación de 2 a 1 entre teórico y práctico. En profesorado se sugiere la realización de experimentos de laboratorio, “Se prevén algunas instancias de laboratorio con el objetivo de que el estudiante pueda corroborar las teorías y familiarizarse con instrumentos y equipamiento menos convencional” CFE (2008, p. 2).

Todos los programas tienen más de 5 unidades y un conjunto de contenidos explícitos a desarrollar. Su ubicación en las carreras correspondientes son: en Ingeniería en el quinto semestre, en Ciencias en el tercero y en profesorado en el cuarto año. Esto es así por la necesidad de que el estudiante se familiarice con contenidos de cursos básicos que son pre-requisitos de física moderna.

Los contenidos principales que se incluyen en los programas se pueden agrupar: relatividad especial, introducción a los fenómenos cuánticos, mecánica cuántica elemental y átomo de hidrógeno. En FIng y FCien luego de abordar el átomo de hidrógeno tienen dos caminos diferentes: por un lado el estudio del núcleo y por el otro los sólidos. El curso para profesorado básicamente concluye con el estudio del átomo de hidrógeno dejando algunos temas como sólidos y partículas entre otros como opcionales. El esquema común y básico de contenidos en los diferentes ámbitos puede esquematizarse como se muestra en la figura 9.

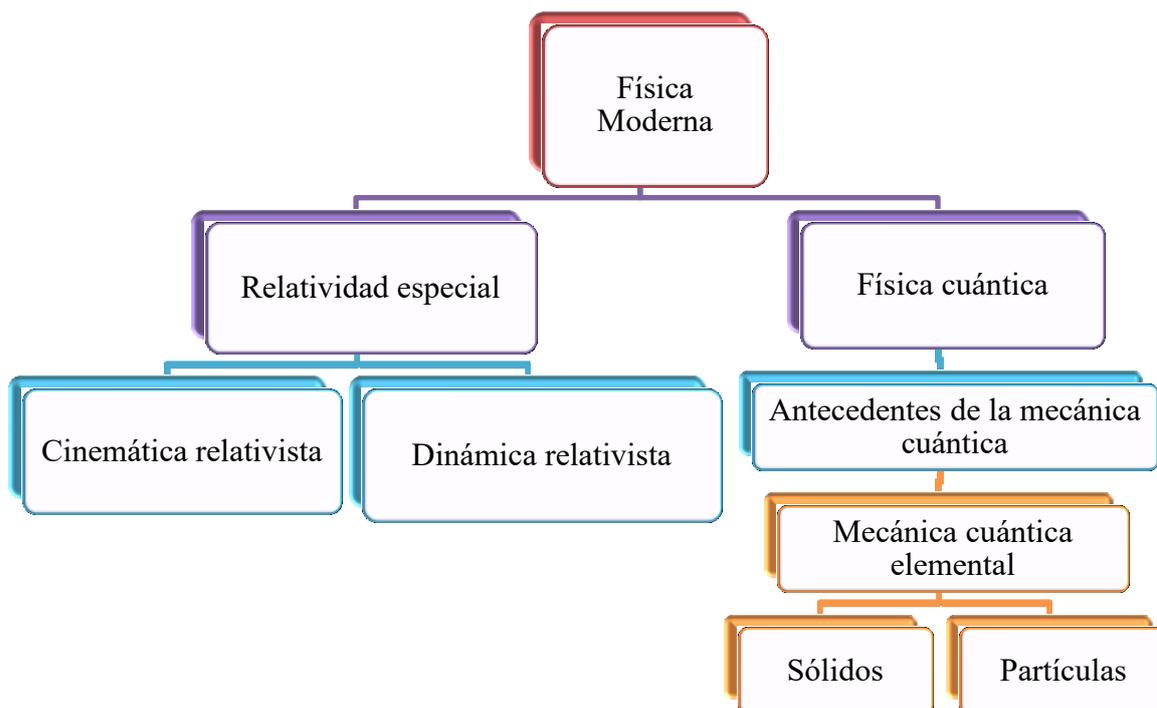


Figura 9 Organización de contenidos en física moderna.

Los programas no incluyen explícitamente la forma de evaluación. El Plan correspondiente es el que fija el tipo de evaluación para la aprobación del curso. Lo habitual en todos los casos es la realización de dos parciales y dependiendo de los resultados de éstos se rinde examen. En el ámbito universitario lo que se tiene en cuenta es el resultado de las evaluaciones sumativa y en profesorado tiene alguna incidencia la realización de pruebas escritas y otras que garanticen la evaluación continua.

Libros de texto⁷

Relatividad Especial de French (1991) presenta ocho capítulos: 1.Desviaciones de la dinámica newtoniana, 2.Perplejidad ante la propagación de la luz, 3.Einstein y las transformaciones de Lorentz-Einstein, 4.La relatividad y la medición de longitudes e intervalos de tiempo, 5.Cinemática relativista, 6.Dinámica relativista. Choques y leyes de conservación. 7. Más acerca de la dinámica relativista y 8. Relatividad y electricidad.

⁷ En el anexo 3 se presenta los cuadros de datos obtenidos de los libros de texto.

French y Taylor (1982) en su texto *Introducción a la física cuántica* presentan 14 capítulos: 1. Modelos atómicos simples, 2. Propiedades ondulatorias de las partículas, 3. Dualidad onda-partícula y estados ligados, 4. Soluciones a la ecuación de Schrödinger en una dimensión, 5. Otras aplicaciones de la ecuación de Schrödinger, 6. Fotones y estados cuánticos, 7. Amplitudes cuánticas y vectores de estado, 8. Los estados cuánticos y su dependencia del tiempo, 9. Difusión de partículas y penetración a través de la barrera de potencial, 10. Momento angular, 11. Momento angular de los sistemas atómicos, 12. Estados cuánticos en sistemas tridimensionales, 13. Partículas idénticas y estructura atómica y 14. Radiación emitida por los átomos.

Serway, Moses, y Moyer (2006) en el texto *Física Moderna* aborda sus temas en 16 capítulos: relatividad especial, conceptos de física cuántica antigua, mecánica cuántica, sólido, partículas elementales y cosmología. Los capítulos son: 1. Relatividad I, 2. Relatividad II, 3. Teoría cuántica de la luz, 4. Naturaleza corpuscular de la luz, 5. Ondas de materia, 6. Mecánica cuántica en una dimensión, 7. Fenómeno de tunelaje, 8. Mecánica cuántica en tres dimensiones, 9. Estructura atómica, 10. Física estadística, 11. Estructura molecular, 12. El estado sólido, 13. Estructura nuclear, 14. Aplicaciones de física nuclear, 15. Partículas elementales y 16. Cosmología.

Los textos no presentan experimentos para desarrollar sino que en general se comentan resultados de experimentos o se hacen referencias. Lo que se privilegia es la presentación clara de la teoría y al final de capítulo se proponen ejercicios de aplicación de la teoría y en algunos casos preguntas, para ampliar vea el anexo 3.

En los gráficos 1 a 3 se presentan la cantidad de páginas de teoría, la cantidad de preguntas de final de capítulo y la cantidad de ejercicios propuestos por capítulo para cada uno de los textos abordados.

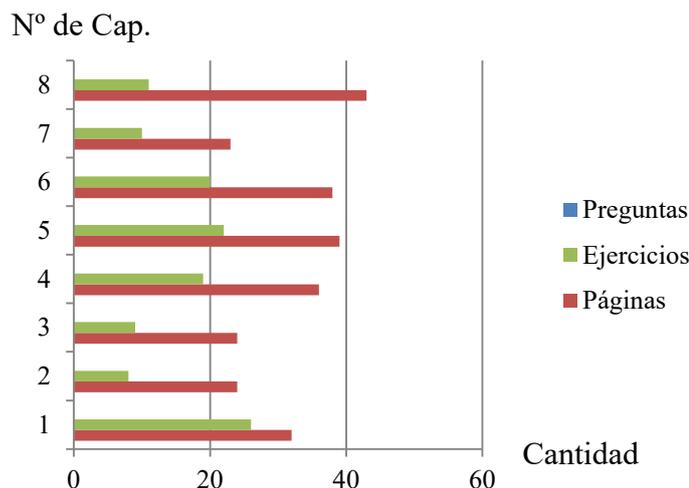


Gráfico 1 Páginas de teórico y cantidad de ejercicios propuestos al final de capítulo del texto Relatividad Especial de French. Con barras rojas las páginas y en verde los ejercicios.

En el gráfico 1 se puede apreciar que no se realizan preguntas al final de cada uno de los capítulos, solamente se proponen ejercicios. El promedio de páginas por capítulo es 32 y el promedio de ejercicios es de 16. La relación páginas a ejercicios general es que aproximadamente cada dos páginas un ejercicio. El capítulo más extenso es Relatividad y electricidad con 43 páginas y tiene 11 ejercicios (relación aproximada de un ejercicio cada 4 páginas).

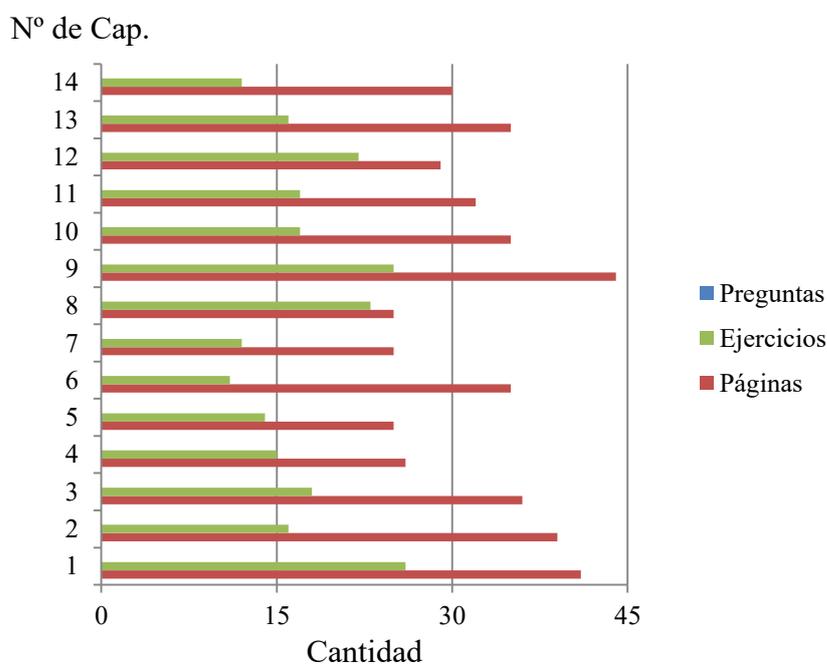


Gráfico 2 Páginas de teórico y cantidad de ejercicios propuestos al final de capítulo del texto Introducción a la Física Cuántica de French y Taylor. Con barras rojas las páginas y en verde los ejercicios.

En el gráfico 2, se evidencia que no se proponen preguntas de final de capítulo, si ejercicios. La cantidad promedio de páginas por capítulo es de 32 y el promedio de ejercicios propuestos es de 17 por capítulo. El capítulo con mayor teórico es Difusión de partículas y penetración a través de la barrera de potencial con 44 páginas y 25 ejercicios propuestos.

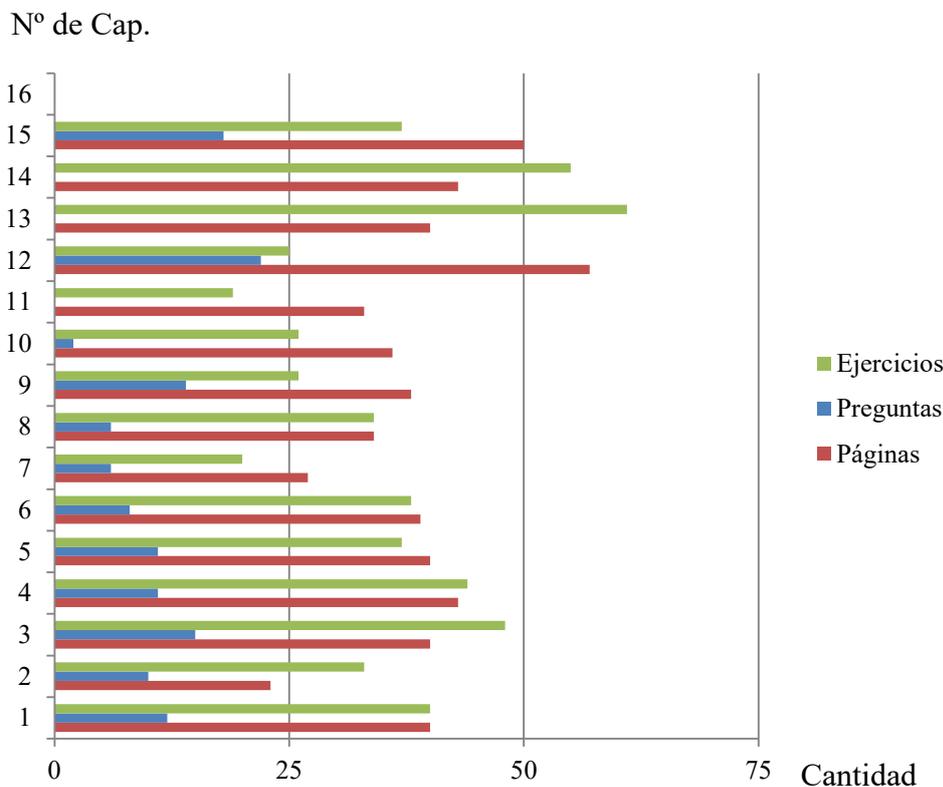


Gráfico 3 Páginas de teórico y cantidad de ejercicios propuestos al final de capítulo del texto Física Moderna de Serway, Moses y Moyer. Con barras rojas las páginas, en verde los ejercicios y en azul las preguntas al final del capítulo.

La cantidad de página promedio por tema es de aproximadamente 39 y la cantidad promedio de problemas es de 36, las preguntas solamente corresponden a un promedio de 11 por tema. La relación de páginas a problemas es 1.08. De forma general cada página del libro se corresponde con uno de los ejercicios propuestos. El capítulo que presenta más ejercicios es Estructura nuclear. El que tiene menos es estructura molecular con un total de 19. Si se suma relatividad I y II el total de problemas es de 73.

Programas de física moderna o afines de profesorado

a) En la formación de profesores de Química

Los cursos que contemplan contenidos de física moderna son: Física II y Química General II que corresponden al segundo año de la carrera.

El curso de Física II es anual, de segundo año de la carrera, con una carga horaria de 2 horas semanales. Los contenidos se distribuyen en 6 unidades y la sexta es referida a contenidos de Física Moderna. Los contenidos son: La luz como partícula: el fotón. Átomos: Espectros atómicos. Modelo de Bohr del átomo. Partículas como ondas: La hipótesis de De Broglie. Si la distribución temporal fuera idéntica para cada unidad y no existieran faltas de clases por diferentes motivos, el número de horas para cubrir los contenidos de física moderna serían de 10 h clase (de 45 minutos cada una). Perdidas de clase por cualquier índole o una distribución horaria no equitativa podría reducir el número de horas e incluso que no se aborde los temas de moderna en el curso.

En metodología se establece: “Se utilizarán variadas metodologías para el desarrollo de los temas, buscando la participación, investigación bibliográfica, discusión y resolución de problemas por parte de los estudiantes. Se elegirán las formas más adecuadas para lograr los objetivos planteados a este nivel terciario teniendo en cuenta que se trata de un curso de formación básico en la disciplina.” (Programa de Física II, 2008, p. 40-41).

El curso de Química General II es anual, de segundo año de la carrera, con una carga horaria de 5 h clase (45 minutos) semanales. Los contenidos se distribuyen en siete unidades y las unidades 1, 2 y 7 se relacionan directamente con contenidos de física moderna, ver anexo 4. Los tiempos destinados a las unidades son: 1 semana, 14 semanas y 2 semanas respectivamente. El mayor desarrollo se tiene en la unidad 2: Teorías y modelos atómicos.

Algunos de los contenidos propuestos explícitamente son: Núcleo atómico. Conversión masa-energía. Energía nuclear de enlace. Modelos nucleares. Radiactividad natural. Estabilidad. Tipos de desintegración. Espectros de energía de las emisiones alfa, beta y gama. Leyes. Series. Radiactividad artificial. Reacciones nuclear. Desintegración, Bombardeo. Fusión. Fisión. Cinética de las reacciones nucleares. Aplicaciones de los

isótopos radioactivos. Estructura peri nuclear. Modelo cuántico del átomo. Espectroscopia. Intercambios de energía entre la materia y la radiación. Teoría del color, Microondas, Radio, Televisión, Rayos X. Espectro atómico. Planck y Einstein Cuerpo negro y Efecto Fotoeléctrico. La teoría de los cuantos y el modelo de Bohr. Los números cuánticos. El modelo ondulatorio del átomo. El principio de incertidumbre. Dualidad onda partícula. De Broglie. La función de onda. Orbital atómico. Sistemas hidrogenoides Feynman, Encuentro de Copenhague Dirac, Born y Bohr. Sistemas no hidrogenoides. Origen de la clasificación periódica de los elementos. Clasificación periódica y configuración electrónica. Las informaciones que nos da la tabla periódica. La noción de: radio atómico, radio de Van Der Waals, radio covalente, radio iónico. La longitud de los enlaces, variación de radio atómico con el número atómico. Carga nuclear.

Los mismos deben ser desarrollados en alrededor de 70 horas de clase (52.5 h reloj). Basándonos solamente en la cantidad de temas presentados más arriba (separación hasta el punto sin contar subtemas), se tiene que cada uno en promedio tiene asignado un tiempo de alrededor de 1.75 h de clase.

Este curso en su metodología pretende: “La metodología a aplicar durante el curso, al igual que el curso de química general I, deberá estar orientada dentro del marco establecido por el enfoque constructivista. A partir de este encuadre se delinearán las estrategias didácticas para desarrollar los contenidos y la metodología a aplicar.” (Programa de Química General II, 2008, p. 104).

Programas de física y química de enseñanza secundaria

Los contenidos de física moderna que son propuestos en enseñanza secundaria en los cursos de física y química correspondientes bachillerato de la Reformulación 2006 (Consejo de Educación Secundaria, 2016) están: en el programa de física de 1^{er} año de bachillerato, en la Unidad 3: Ondas Electromagnéticas y Fotones. Los temas de la unidad son: Campo eléctrico inducido Campo magnético inducido por un campo eléctrico variable. Ondas electromagnéticas. Velocidad de propagación de ondas electromagnéticas. Espectro electromagnético. Efecto fotoeléctrico. Fotón.

De estos podrían tomarse como cercanos a física moderna: Ondas electromagnéticas. Velocidad de propagación de ondas electromagnéticas. Espectro electromagnético. Efecto fotoeléctrico. Fotón. El tiempo sugerido para toda la unidad es de 4 semanas, de lo cual se deduce que estos temas deberán ser desarrollados en alrededor de la mitad del tiempo. El porcentaje de contenidos de física moderna es mínimo respecto de la totalidad del curso, la unidad 1 tiene asignado 10 semanas y la unidad 2 once.

En el programa de Química de 2^{do} año de bachillerato opción biológica y científica, en el módulo 1: Estructura de la materia, se proponen para desarrollar en 10 semanas: Nucleones, nucleídos e isótopos. Estabilidad nuclear. Energía de enlace por nucleón. Radiactividad natural e inducida. Desintegraciones nucleares. Ecuaciones de desintegración. Transformaciones energéticas. Reacciones de fisión y fusión. Cuantización de la energía. Niveles de energía. Orbitales y tipos de orbital. Configuración electrónica de s. Estructura electrónica y Tabla Periódica. Propiedades periódicas: radio atómico, energía de ionización, electronegatividad. Representación de electrón-punto de Lewis. Revisión del enlace químico. Enlace covalente: magnitudes que definen el enlace. Teoría de Lewis. Teoría del enlace de valencia. Teoría de RPEEV. Geometría molecular. Momento dipolo molecular. Configuración y conformación. Isomería geométrica y óptica. Fuerzas intermoleculares: dispersión, dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno.

De los anteriores, los principales temas asociados a física moderna son: Radiactividad natural e inducida, desintegraciones nucleares. Ecuaciones de desintegración. Transformaciones energéticas. Reacciones de fisión y fusión. Cuantización de la energía. Niveles de energía. Un porcentaje de las 10 semanas se destina a trabajar estos temas.

En el programa de Física de 2^{do} año de bachillerato opción biológica y científica, en la Unidad 2: Leyes de Newton se proponen: Conceptos de los vectores velocidad instantánea y aceleración instantánea. Principio de inercia, 2^a ley de Newton y tercera ley. Aplicaciones a sistemas concretos. Movimiento de cuerpos bajo la acción de fuerza neta constante (nula y no nula). Ley de la Gravitación Universal de Newton.

Fuerzas centrales. Aplicaciones a cuerpos que se mueven por la acción gravitatoria de la Tierra. Concepto de campo gravitatorio y su representación. Alcances y límites de validez de la mecánica newtoniana. Aproximación a la relatividad especial.

Estos temas deben desarrollarse en 10 semanas del curso, solamente Alcances y límites de validez de la mecánica newtoniana. Aproximación a la relatividad especial, son temas vinculados a física moderna.

En el programa de Física de 3^{er} año de bachillerato opciones físico-matemática, ciencias biológicas y ciencias agrarias, luego de culminar la unidad 6 se propone Física en otras escalas. Este módulo es de 8 semanas y se divide en dos bloques de 4 semanas cada uno. En el primer bloque se proponen los siguientes contenidos: Efecto fotoeléctrico. Efecto Compton. Espectro de emisión. Átomo de Bohr. Ondas De Broglie. Difracción de electrones. Principio de incertidumbre. Interacciones y partículas fundamentales. Luego, en el segundo módulo se propone al referirse a la relatividad especial: Postulados, Simultaneidad y Dilatación del tiempo y contracción de las longitudes.

En este curso es en donde existe la mayor cantidad de contenidos de física moderna para un estudiante de enseñanza secundaria y en donde se le dedica relativo mayor tiempo. Entre los diferentes programas no existe un vínculo de contenidos de física moderna, año a año entre física y química que puedan ser reforzados desde el trabajo coordinado. No obstante el refuerzo está en el trabajo experimental que se sugiere en una y otra asignatura, condicionado a la buena voluntad y disposición de los docentes de ambas disciplinas, dado que muchas veces por temas locativos, horarios, entre otros, no pueden realizarlo.

Estudio comparativo de algunos programas

Como ya se expresó, el programa que tiene mayores contenidos de física moderna es el de física de 3^{ero} de bachillerato de las opciones: físico-matemática, ciencias biológicas y ciencias agrarias (F-3ero-CES).

Se elige, para iniciar el análisis como punto de comparación la unidad física a otras escalas (F-3ero-CES) con el programa de Física Moderna de la licenciatura de física.

En la figura 10, a la izquierda se presentan algunos de los contenidos de física moderna sugeridos para la formación de licenciado en física que se desarrollan a lo largo de un semestre y a la derecha los contenidos sugeridos para tercer año de bachillerato de

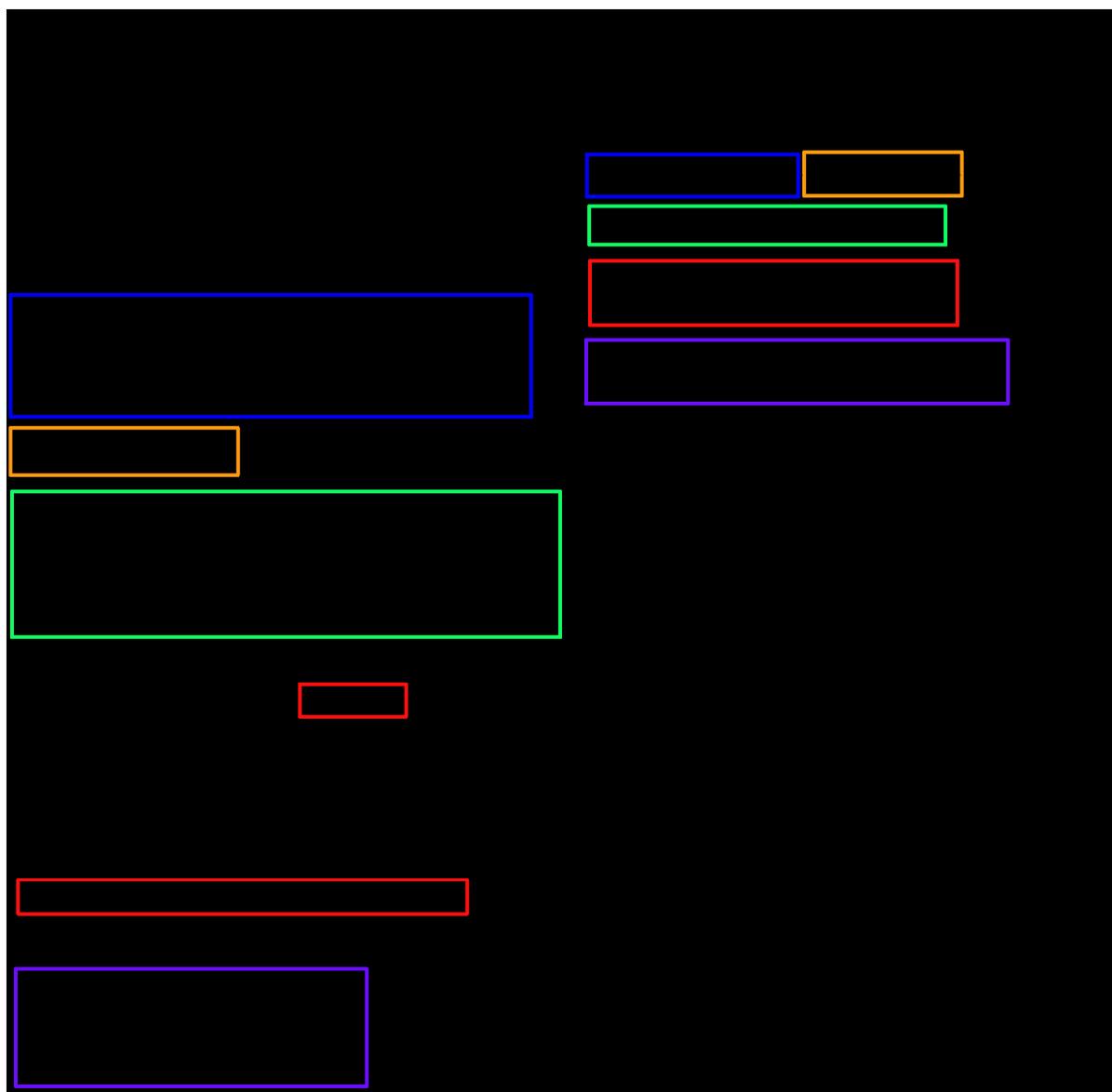


Figura 10 Comparación entre un programa universitario de Física Moderna (derecha) y parte de un programa de secundaria de 3ero de bachillerato (izquierda)

secundaria (correspondientes a física cuántica) que se desarrollan en un máximo de cuatro semanas. Es clara la correlación de contenidos (ver recuadros de colores iguales). Por ejemplo: en color azul está el efecto fotoeléctrico. Lo que inmediatamente se advierte es que los tiempos destinados en uno y otro ámbito para el tratamiento de la misma temática son muy diferentes. En la licenciatura, no solo los estudiantes tienen mayor una preparación previa sino que por su edad, tiene un desarrollo cognitivo superior y los contenidos son abordados en un lapso mayor de tiempo. Sin embargo, la preparación previa de los estudiantes de secundaria es menor y se recorren los contenidos casi en la misma extensión pero muy rápidamente. Metafóricamente, deberían tenerse las condiciones de Usain Bolt, para que un estudiante de secundaria pueda ganar la carrera del abordaje y el aprendizaje significativo de los contenidos de física moderna de esta unidad en el tiempo asignado. Esto es un indicador de que los programas oficiales de secundaria persiguen meramente la búsqueda, transmisión y repetición de información. En la misma figura 10 y a la derecha (abajo) puede apreciarse que se sugieren actividades experimentales para los estudiantes: efecto fotoeléctrico, espectro del átomo de hidrógeno, relación carga/masa del electrón y determinación de la constante de Planck con LEDs. En la licenciatura no se proponen experimentos.

Para la temática de relatividad especial existe también una relación entre los contenidos en diferentes ámbitos, en la figura 11, se muestran con recuadros anaranjados. Se puede apreciar que en este caso se simplifican los contenidos de secundaria más que en temas de cuántica.

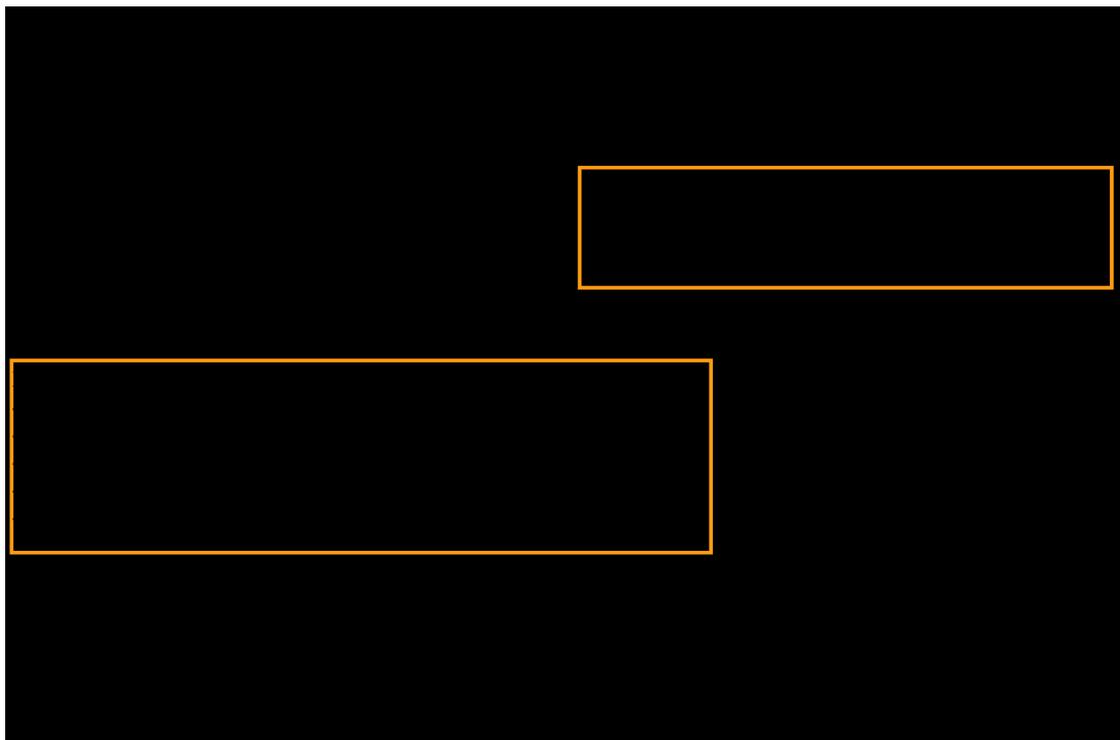


Figura 11 Contenidos de relatividad especial en la licenciatura de física y enseñanza secundaria.

En el programa de química de secundaria, de quinto año para las orientaciones biológicas y científicas, también se identifican algunos temas, ver figura 12 para identificar recuadros del mismo color.

En el curso de Química se proponen en el módulo 1 algunos temas que son de Física Moderna, algunos de ellos se ubican como contenidos mínimos y otros como una profundización. En la parte experimental se sugieren varias actividades, entre ellas: Medición de la actividad radiactiva de diferentes muestras problema. Espectroscopio. Estudio comparativo de espectros.

Programa universitario de Física Moderna Licenciatura de Física	Programa de 2 ^o de Bachillerato de Química Opción biológica y científica	
<p>II. LOS ORIGENES DE LA TEORÍA CUÁNTICA.</p> <p>A. Primeros indicios. - La radiación de cuerpo negro y la catástrofe ultravioleta. La capacidad calorífica de los sólidos. - La estabilidad del átomo.</p> <p>B. La Teoría de Planck.</p> <p>C. El Efecto Fotoeléctrico - Los rayos catódicos y el descubrimiento del electrón. - Resultados experimentales y su explicación por Einstein utilizando la hipótesis de Planck.</p> <p>D. El Efecto Compton.</p> <p>E. El átomo de Bohr. - Modelos atómicos antiguos; modelo de Thomson. - Espectro de líneas. La dispersión de Rutherford. - Postulados de Bohr. Evidencia de los estados estacionarios: el experimento de Franck-Hertz.</p>	<p>Módulo 1: Estructura de la materia Contenidos mínimos</p> <p>Nucleones, nucleidos e isótopos. Estabilidad nuclear.</p> <p>Energía de enlace por nucleón Radiactividad natural e inducida Desintegraciones nucleares. Ecuaciones de desintegración. Transformaciones energéticas. Reacciones de fisión y fusión.</p> <p>Cuantización de la energía Niveles de energía. Orbitales y tipos de orbital. Configuración electrónica de s.</p>	<p>Contenidos de profundización</p> <p>Modelos de núcleos atómicos.</p> <p>Actividad. Becquerel. Obtención de radioisótopos artificiales. Efectos biológicos de las radiaciones. Gray y Rem. Cinética nuclear. Vida media.</p> <p>Evolución del modelo atómico. Dualidad onda-partícula. Principio de incertidumbre. Función de onda. Números cuánticos.</p>
<p>III. LA MECÁNICA CUÁNTICA ELEMENTAL.</p> <p>A. La mecánica ondulatoria de De Broglie y Schrodinger. - Orígenes. Paquetes de ondas. - Dualidad onda-partícula. Ecuación de Schrodinger. - El experimento de Davison-Germer. - La interpretación probabilística de las ondas de De Broglie. - Valores esperados. - Explicación de los postulados de Bohr.</p> <p>B. El Principio de Incertidumbre de Heisenberg. - La medida en mecánica cuántica.</p> <p>C. La Interpretación de Copenhaga. - El "colapso" de la función de onda. - Postulados de la mecánica cuántica</p> <p>D. Aplicación a problemas sencillos. - Partícula en una caja de altura infinita. - Pozos de potencial unidimensionales. - Penetración de barreras y efecto túnel.</p> <p>V. FÍSICA NUCLEAR</p> <p>A. Nucleones y fuerzas nucleares. B. Modelos nucleares. C. Reacciones nucleares.</p>	<p>Estructura electrónica y Tabla Periódica. Propiedades periódicas: radio atómico, energía de ionización, electronegatividad.</p>	<p>Características generales de los grupos de algunos s representativos.</p>

Figura 12 Con cuadros anaranjados los vínculos entre los temas de un curso universitario de física moderna (relatividad especial) para físicos (izquierda) y los contenidos para alumnos de secundaria (derecha).

Muchas de las temáticas, que a nosotros como docentes nos parecen sencillas, no lo son para los estudiantes. Diversas razones confluyen en esto: por un lado el docente domina el saber sabio que lo traduce en saber a enseñar y que se internaliza en el estudiante en un saber aprendido (Chevallard, 1997), pero ese camino que el docente recorre no siempre el estudiante puede seguir. El cambio de paradigma que se produce en las nuevas teorías: Relatividad Especial y Mecánica Cuántica, necesitan de conocimientos previos sólidos de los paradigmas anteriores para su comprensión. El exceso de contenido no ayuda a que puedan discutirse las ideas en profundidad y se privilegia la extensión y tratamiento ligero de contenidos. Esto opera como aliado en las metodologías seleccionadas por los docentes para el abordaje de la temática: un enfoque tradicional, centrado en la presentación teórica del tema y sin actividades experimentales.

En las tablas 8 y 9, se realiza la comparación entre los contenidos de la formación de los docentes de química y física con los contenidos propuestos para enseñar en secundaria.

Contenidos en programas de Química en secundaria	Contenidos de profesorado de Química	Contenidos de profesorado de Física
Radiactividad natural e inducida, desintegraciones nucleares. Ecuaciones de desintegración. Transformaciones energéticas. Reacciones de fisión y fusión. Cuantización de la energía. Niveles de energía.	Cubren los temas de secundaria en la asignatura Química General II con un tiempo estimado de 1.75 h x 6 ≈ de 10h clase de (45 min), dos semanas.	En general no se cubren en los cursos de física. Solamente se cubren cuantización y niveles de energía.

Tabla 8 Comparación con contenidos de química de secundaria.

Contenidos en programas de Física en secundaria	Contenidos de profesorado de Química	Contenidos de profesorado de Física
Efecto fotoeléctrico. Efecto Compton. Espectro de emisión. Átomo de Bohr. Ondas de De Broglie. Difracción de electrones. Principio de incertidumbre. Interacciones y partículas fundamentales. Postulados de la relatividad especial, Simultaneidad y Dilatación del tiempo y contracción de las longitudes.	Cubren los temas de secundaria en la asignatura Química General II con un tiempo estimado de 10h, es decir dos semanas del curso. También en Física II con un tiempo estimado de 10 h, dos semanas. No se cubren los temas de relatividad especial.	Se cubren en su totalidad con un curso anual.

Tabla 9 Comparación con contenidos de física de secundaria.

Encuestas

Los informantes claves tienen diferentes lugares de procedencia: tres son del instituto de Física de Facultad de Ingeniería, tres son de la cátedra de Física de Facultad de Química, uno es del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias y 4 pertenecen al Consejo de Formación en Educación.

Así como su procedencia es diferente, su formación académica también lo es: cuatro de ellos tienen título de Doctor en Física, dos de ellos de Doctor en Química, uno es doctor en Educación (título de grado profesor de enseñanza media de física), uno es Experto Universitario en Administración de la Educación (título de grado profesor de enseñanza media de física), uno es ingeniero químico (se desempeña en la cátedra de física) y el otro es Bachiller en Química y Prof. Técnico de Química de INET.

Asimismo, sus trayectorias como docentes, son también diversas: del total siete de ellos han dictado el curso de física moderna o un curso afín a la misma. Dos de ellos lo realizaron en Facultad de Ciencias e Ingeniería, dos en formación docente, uno en facultad de ciencias y dos en facultad de química. La afinidad en el caso de la facultad de química se adopta a través de las siguientes manifestaciones de los encuestados: “En FQ no hay curso de física moderna, pero su contenido se cubre mayormente en "Fisicoquímica Molecular Básica", "Mecánica Cuántica" y en el curso de "Física del Estado Sólido””; “Se cubre parcialmente (aspectos básicos de Mecánica Cuántica y Estadística) en el curso Fisicoquímica Molecular Básica de Facultad de Química”.

Las estrategias utilizadas en clase, por todos los informantes, que dictan o dictaron la asignatura son tradicionales: las clases se dividen en teóricas y de resolución de ejercicios (en un caso se manifiesta que los ejercicios se exponen en clase y en otro que se hacen en grupos). Por otra parte cinco de ellos manifiestan realizar experimentos. Otros utilizan simulaciones computacionales, videos, seminario de expertos y demostrativas.



Figura 13 Nube de conceptos referidos a los temas que se entienden importantes para enseñanza secundaria.

Siete de los informantes están totalmente de acuerdo en que se enseñe física moderna en la enseñanza secundaria, dos están de acuerdo y uno parcialmente de acuerdo. Cuando se les consulta sobre qué temas serían los principales manifiestan: efecto fotoeléctrico, nociones de relatividad especial (dilación del tiempo y contracción de longitudes), espectro electromagnético, ondas de de Broglie, principio de incertidumbre, átomo de Bohr, cuerpo negro, etc. Radiactividad y desintegraciones radiactivas no aparece como un tema principal para el conjunto de todos los informantes pero si se toma el subconjunto que tiene formación en química aparece mencionado en tres de los cuatro casos. En la figura 13 se presentan en forma de nube de conceptos los temas.

El análisis hasta aquí presentando permite sugerir, que para cambiar la metodología de trabajo de los docentes, éstos deben contar con propuestas que les permitan abordar los contenidos de física moderna de forma atractivas para los estudiantes y que tengan en cuenta las limitaciones al hacerlo en este nivel. Para ello se diseñan un conjunto de propuestas.

Elaboración de guías usando el concepto de laboratorio de bajo costo

En el entendido de que muchos son los pre-requisitos que deben tener los estudiantes para poder comprender muchos de los conceptos de física moderna y no siempre se logran en los cursos previos por diferentes motivos, aquí no seremos demasiados ambiciosos ni se realiza un exhaustivo recorrido de contenidos. La opción es concentrarnos en algunos conceptos de física moderna, a modo ilustrativo y de motivación para alumnos y docentes, que permiten la coordinación de varias disciplinas, principalmente física y la química. Una propuesta que pueda ser complemento a lo que se desarrolla en secundaria y auxilie a la reflexión y comprensión sobre la ciencia. Se pretende privilegiar el estudio en profundidad de los temas seleccionados y con sucesivos refinamientos (retroalimentación del docente y de los pares estudiantes) llegar a una comprensión profunda, de acuerdo con el nivel de esfuerzo que se espera para un alumno del último año de secundaria. Algunos de los trabajos que son tomados como referencia son: (García-Molina, 2013; Gil, 2003; Gil, 2014; MacIsaac 2007; Pinilla, Ramírez y Fajardo, 2003; Forringer, 2014; Almeida Cavalcante, Rodrigues Caetano Tavolaro y Haag, 2001), entre otros.

Se entiende que responder preguntas, usando la experimentación, puede ser un fermento para una mejor comprensión de los temas tratados y de forma subyacente de los métodos de la ciencia (Torales y Di Laccio, 2017). Las preguntas posibilitan que podamos incorporar a la enseñanza muchas de las herramientas transversales de la química y la física: la generación de hipótesis, el diseño de experimentos, la medición cuidadosamente, el procesamiento de datos con diferentes herramientas disponibles, la discusión de resultados, la realización de informes mejorando las competencias de lectoescritura y comunicación a pares y público en general de los aprendizajes obtenidos. Responder preguntas incluyendo la experimentación como sustento deja de ser una mera técnica áulica y se transforma en uno de los ejes centrales de esta propuesta metodológica.

Nociones de física moderna a través de preguntas

La generación de laboratorios de bajo costo con inclusión genuina de TIC es una herramienta que ayuda y resuelve muchas de las dificultades que generalmente pueden surgir por no contar con laboratorios totalmente equipados. Aquí se presentan un conjunto de mini proyectos experimentales que pueden usarse para introducir algunos contenidos de Física Moderna de forma moderada y haciendo énfasis en los aspectos metodológicos de la ciencia e introduciendo competencias transversales de trabajo experimental.

A nuestro entender estos mini proyectos podrían desarrollarse sin inconvenientes por un docente de Física o Química o de forma coordinada. La inclusión de conceptos puede darse en diferentes niveles de profundización dependiendo del curso, 2^{do} o 3^{ero} de Bachillerato.

Ejemplo de algunas preguntas que pueden ayudar en el camino de enseñar Física Moderna en secundaria.

- ✓ ¿Qué es el decaimiento radiactivo? ¿Cómo puede ser explicado?
- ✓ ¿Qué edad tiene la Tierra?
- ✓ ¿Qué cosa es un espectro de un elemento químico?
- ✓ ¿Cómo funciona una cámara termográfica?
- ✓ ¿Cómo podemos saber la distancia a la cual se encuentra una galaxia?
- ✓ ¿Por qué brillan las estrellas? ¿Tiene relación con la famosa ecuación de Einstein?
- ✓ ¿Las galaxias se alejan de nosotros?
- ✓ ¿Está el universo en expansión? ¿Cómo podemos saberlo?
- ✓ ¿Cuál/es podrían ser los posibles destinos del universo? ¿Cómo lo sabe?

¿Qué es el decaimiento radiactivo? ¿Cómo puede ser explicado?

Introducción

Sin importar la naturaleza del decaimiento radiactivo, su característica principal es que es un proceso estadístico (Leike, 2002). La descripción de este proceso se hace a través de:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

donde N_0 es el número de núcleos radiactivos de la muestra en $t = 0$, λ la constante de desintegración y $N(t)$ la cantidad de núcleos que quedan a tiempo t . El tiempo de vida media puede obtenerse con (Young, Freedman, 2009):

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (2)$$

Proyecto

Desafío: Usted se encuentra en un bar y observa que para beber la cerveza sin espuma debe esperar un momento. ¿Cuánto tiempo se debe esperar para tomarla con la mitad de la espuma inicial? El proceso de desintegración de la espuma de la cerveza, ¿se comporta como el decaimiento de núcleos radiactivos? ¿Por qué?

Equipo experimental: un vaso cilíndrico de sección uniforme, una lata de cerveza, un smartphone con una aplicación capaz de medir longitudes en la pantalla, una regla, un reloj y opcionalmente una PC.

Sugerencias de trabajo

Sobre una mesa coloque el vaso, la regla y el reloj. Procure que la regla y el reloj sean bien visibles a la cámara. Pruebe medir el vaso a través de una fotografía, usando una referencia y haga el chequeo de forma independiente, esto lo ayudará a tener menos incertidumbres asociadas al paralaje.

Vierta cerveza en el vaso procurando obtener una espuma de al menos 8 a 10 cm. Comience a fotografiar el proceso manteniendo la cámara del smartphone fija, puede ser útil un trípode. Observe el proceso atentamente. ¿Puede predecir la forma en que se rompen las burbujas de la cerveza?

Grafique la altura de la espuma de la cerveza en función del tiempo en escalas lineales y logarítmicas. Determine si el modelo de “decaimiento” de la espuma sigue una función del mismo tipo que el decaimiento de los núcleos radiactivos.

¿Cuánto tiempo será necesario para que la altura de la espuma sea de 6.5 cm? ¿Cómo lo sabe? ¿Se parecen en algunos aspectos el fenómeno de decaimiento radiactivo con el “decaimiento de la espuma de la cerveza? Explique

Ejercicios (Young, Freedman, 2009)

- 1) En la siguiente tabla se presentan los resultados de mediciones de la actividad de una muestra radiactiva. a) Calcule la vida media. b) ¿Cuántos núcleos radiactivos había en la muestra cuando $t=0$? c) ¿Cuántos había después de 7.0 h?
- 2) Somos polvo de estrellas. En 1952 se descubrieron las líneas espectrales del elemento tecnecio-99

Tiempo (h)	Decaimientos/s
0	20,000
0.5	14,800
1.0	11,000
1.5	8,130
2.0	6,020
2.5	4,460
3.0	3,300
4.0	1,810
5.0	1,000
6.0	550
7.0	300

(⁹⁹Tc) en una estrella gigante roja. Las gigantes rojas son estrellas muy antiguas, a menudo de 10 mil millones de años de antigüedad, y se encuentran al final de sus vidas. El tecnecio no tiene isótopos estables, y la vida media del ⁹⁹Tc es de 200,000 años. a) ¿Cuántas vidas medias ha estado el ⁹⁹Tc en la gigante roja si la edad de ésta es de 10 mil millones de años? b) ¿Qué fracción del ⁹⁹Tc original quedaría al final de ese tiempo? Este descubrimiento fue sumamente importante porque brindó evidencia convincente para la teoría (ahora reconocida como verdadera) de que la mayoría de los átomos más pesados que el hidrógeno y el helio se crearon en el interior de las estrellas por fusión termonuclear y otros procesos nucleares. Si el ⁹⁹Tc hubiera sido parte de la estrella desde que ésta nació, la cantidad restante después de 10 mil millones de años sería tan minúscula que no sería detectable. Este conocimiento condujo más tarde al astrónomo Carl Sagan a afirmar que “somos polvo de estrellas”.

¿Qué cosa es un espectro de un elemento químico?

Introducción

El espectro de emisión de un elemento químico es un conjunto de frecuencias longitudes de ondas de las ondas electromagnéticas emitidas por átomos de ese elemento, en estado gaseoso, cuando se le comunica energía. Los espectros son como una especie de “código de barras” que la naturaleza puso en cada uno de los elementos para poder identificarlos. La rama que se dedica al estudio de los espectros es la espectroscopia la cual permite conocer los elementos presentes en diferentes objetos, por ejemplo en el Sol y otras estrellas.

Los espectros de líneas pueden comprenderse en base a dos conceptos: el de fotón y el de niveles de energía de los átomos. Los espectros de líneas de los elementos son causados por las emisiones de fotones con diferentes energías desde los átomos de ese elemento.

Según Niels Bohr un átomo puede hacer una transición de un nivel de energía a otro de menor energía al emitir un fotón. La energía del fotón emitido es la diferencia de energía entre los niveles inicial y final.

$$E_{\text{fotón}} = E_i - E_f = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

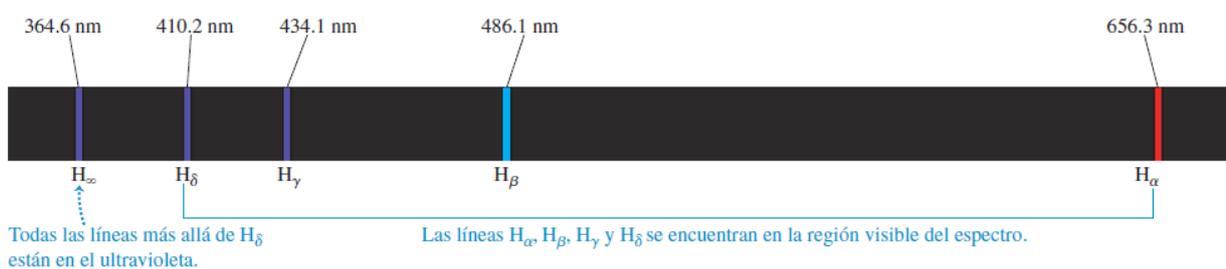


Figura 14 Espectro del hidrógeno.

Donde h es la constante de Planck, c la rapidez de la luz en el vacío y λ la longitud de onda de la radiación emitida.

El espectro de hidrógeno emite la serie de líneas de la figura 14. En 1885 Johann Balmer encontró una fórmula empírica para calcular las longitudes de onda de tales líneas:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (4)$$

Donde R es la constante de Rydberg y n puede tener valores enteros 3,4,5... Con λ en metros $R = 1.097 \times 10^7 m^{-1}$. Si obtenemos la λ de la fórmula de Balmer y usando (3) se puede obtener la energía del fotón emitido.

La serie de Balmer no es la única sino que existen cuatro más que llevan el nombre de su descubridor:

$$\text{Lyman: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ con } n = 2,3,4, \dots$$

$$\text{Paschen: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ con } n = 4,5,6 \dots$$

$$\text{Brackett: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ con } n = 5,6,7 \dots$$

$$\text{Pfund: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ con } n = 6,7,8 \dots$$

La serie de Lyman está en el ultravioleta, y las de Paschen, Brackett y Pfund están en el infrarrojo. Vemos que la serie de Balmer se ajusta al esquema entre las series de Lyman y de Paschen (Young, Freedman, 2009).

En la figura 15 se presenta el espectro de emisión del mercurio. Las prominentes líneas de mercurio, son de 435,835 nm (azul), 546,074 nm (verde), y un par de 576,959 nm y 579,065 nm (amarillo-naranja). Hay otras dos líneas azules de 404,656 nm y 407,781 nm y una línea débil de 491,604 nm.

Proyecto

Desafío: Un vendedor de lámparas de bajo consumo afirma que el gas contenido en las lámparas es mercurio. ¿Es cierto? ¿Cómo lo sabemos?

Equipos necesarios: una cámara digital o un celular con cámara, un trozo de CD o DVD que se le haya quitado la capa de recubrimiento, una pc o celular con software de análisis de espectros y una lámpara de bajo consumo, figura 16.

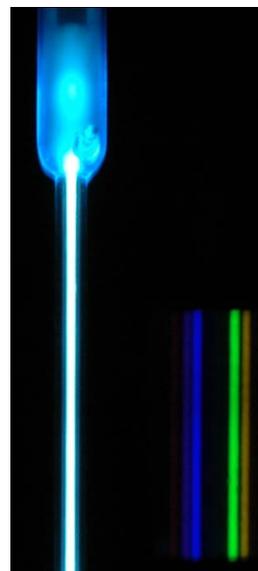


Figura 15 Espectro característico del gas mercurio.



Figura 16 Lámpara de bajo consumo encendida.

Sugerencias de trabajo

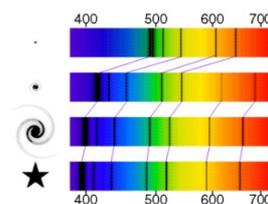
Obtenga de un CD o DVD un trozo de este sin recubrimiento. Colóquelo delante de la cámara de su smartphone y en una habitación oscura obtenga algunas imágenes de una lámpara de bajo consumo.

Edite la fotografía para que sea fácil su manejo y analícela con un software de análisis de espectros. Puede ser útil el Tracker (Brown, 2017) que ya tiene instalado en su PC, sino les satisface puede encontrar en la web y en las aplicaciones de su celular otros equivalentes. Puede ser de utilidad consultar en esta etapa del trabajo las siguientes referencias: [Calibrar espectro](#), [Tutorial Tracker](#).

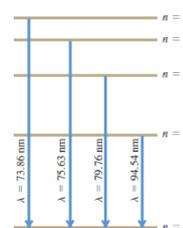
Construya la gráfica de intensidad vs longitud de onda para su fotografía y compárela con la del mercurio. ¿Son las lámparas de mercurio?

Ejercicios (Young, Freedman, 2009)

En la figura de este ejercicio se muestra el espectro del mismo elemento químico pero obtenido de diferentes fuentes. ¿A qué le atribuye las diferencias?



- 1) Use la fórmula de Balmer para calcular: a) la longitud de onda, b) la frecuencia y c) la energía del fotón de la línea $H\gamma$ de la serie de Balmer del hidrógeno.
- 2) Calcule las longitudes de onda máxima y mínima de las series de Lyman y de Paschen para el hidrógeno. ¿En qué región del espectro electromagnético está cada serie?
- 3) En un conjunto de experimentos con un átomo hipotético de un electrón, se miden las longitudes de onda de los fotones emitidos a partir de la transición que culmina en el estado fundamental ($n=1$), como se indica en el diagrama de niveles de energía. También se observa que se requieren 17.50 eV para ionizar este átomo.
 - a) ¿Cuál es la energía del átomo en cada uno de los niveles ($n=1$, $n=2$, etcétera) que se muestran en la figura?
 - b) Si un electrón hiciera una transición del nivel $n=4$ a $n=2$, ¿cuál sería la longitud de onda de la luz emitida?



¿Cómo funciona la cámara termográfica?

Introducción

Todos los cuerpos por el solo hecho de encontrarse a cierta temperatura, emiten radiación electromagnética en una amplia variedad de longitudes de onda debido a las vibraciones de sus moléculas. Dependiendo de la temperatura a la que se encuentre, emitirán radiación más intensa en una u otra zona del espectro electromagnético.

En 1909, el físico alemán Max Planck enunció la ley que describe la emisión térmica. De esta ley se deducen las leyes de Wien y la de Stefan-Boltzmann.

La ley de Wien indica que la longitud de onda, a la cual la radiancia espectral es máxima, verifica:

$$\lambda_{m\acute{a}x}T=2.898 \times 10^{-3} mK \quad (5)$$

La longitud de onda del color es la misma que la calculada para la $\lambda_{m\acute{a}x}$. Así, un objeto de hierro a temperatura ambiente (300 K), presenta un pico de emitancia radiante a 9,7 μm , en el infrarrojo lejano, que nuestros ojos no son capaces de percibir, pero sí puede detectarse mediante una cámara de infrarrojos.

La ley de Stefan-Boltzmann, enunciada por los austriacos Josef Stefan y Ludwig Boltzmann, afirma que la Radiancia (energía por unidad de tiempo por unidad de área) por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta:

$$R=\varepsilon \sigma T^4, \quad (6)$$

siendo $\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$, donde ε es la emisividad ($0 < \varepsilon < 1$), propiedad que indica la relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por el cuerpo negro a la misma temperatura. Para el cuerpo negro $\varepsilon = 1$; cuanto menor sea el valor de la emisividad, como la que presentan los metales pulidos, mayor será el porcentaje de radiación reflejada.

Nuestros ojos son órganos fotorreceptores que han evolucionado para detectar la radiación electromagnética exclusivamente en el espectro de la luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como la infrarroja, es invisible para el ojo humano.

La termografía es una moderna tecnología que utiliza cámaras que miden y toman imágenes de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos sin necesidad de que haya luz visible. Como esta radiación es función de la temperatura de la superficie del cuerpo, la cámara permite el cálculo y visualización de dicha temperatura.

Proyecto

Desafío: La termografía permite conocer diferentes fenómenos que a simple vista no son detectables ya que es capaz de detectar radiación infrarroja. ¿Cómo funciona la cámara termográfica? ¿Qué es la radiación infrarroja?

Equipos necesarios: un smartphone y una cámara termográfica (accesorio para smartphones).

Sugerencias de trabajo:

a) Buenos y malos conductores térmicos

Prepare su smartphone colocándole la cámara termográfica (previamente debe descargar la aplicación necesaria para su detección). Si aún no lo ha hecho puede hacerlo desde Play Store para sistemas Android.

Puede ser útil descargar a su ordenador personal (PC) el software de análisis de imágenes. Es de descarga gratuita: <http://www.flir.com/flirone/>

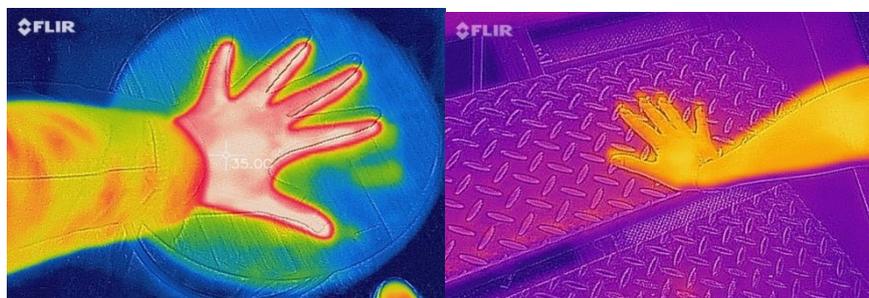


Figura 17 Imágenes térmicas obtenidas con la cámara FLIR ONE para smartphones.

Coloque su mano sobre madera o solicite esto a un compañero y fotografíe el evento. Repita la anterior para una superficie metálica, ver figura 17. ¿Qué puede decir sobre la conducción del calor en los diferentes materiales?

¿Qué temperatura tiene el cuerpo de la persona? De acuerdo con su respuesta, ¿qué $\lambda_{máx}$ y R debería esperar si se comportara como cuerpo negro?

b) Expansión de un gas

Tome un desodorante en aerosol y presiones la válvula propulsora y registre el evento con su cámara termográfica.

Se sugiere utilizar el software para análisis de imágenes para visualizar el patrón de temperaturas.

¿Qué sucede con la temperatura del gas a medida que se produce la expansión?

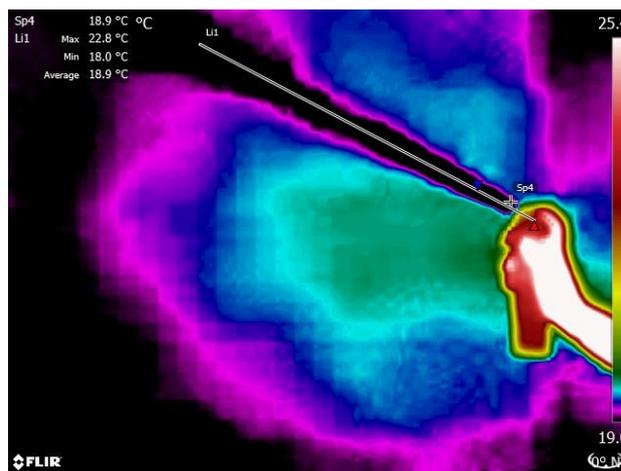


Figura 18 Estudiante liberando gases desde un desodorante en aerosol.

Ejercicios (Young, Freedman, 2009)

Una bombilla eléctrica incandescente de 100 W tiene un filamento cilíndrico de tungsteno de 30.0 cm de longitud, 0.40 mm de diámetro, y su emisividad es 0.26. a) ¿Cuál es la temperatura del filamento? b) ¿Para qué longitud de onda es máxima la emitancia espectral de la bombilla? Las bombillas incandescentes no son fuentes eficientes de luz visible. Explique por qué.

- 1) La longitud de onda visible más corta es 400 nm, aproximadamente. ¿Cuál es la temperatura de un radiador ideal, cuya emitancia espectral es máxima en esa longitud de onda?
- 2) Se ha detectado radiación procedente del espacio, que es característica de un radiador ideal a $T=2.728$ K. (Esta radiación es una reliquia del Big Bang del principio del Universo.) Para esa temperatura, ¿en qué longitud de onda es máxima la distribución de Planck? ¿En qué parte del espectro electromagnético está esa longitud de onda?

¿A qué distancia encontramos las galaxias?

Introducción

Para medir la distancia a objetos “ceranos” (hasta 100 años luz de distancia) se utiliza un método denominado “paralaje”, pilar básico de la escala de distancias en astronomía. La paralaje se calcula utilizando el ángulo formado por la dirección de dos líneas visuales relativas a la observación de un objeto desde dos puntos de vista diferentes.

Por ejemplo, si en enero miramos una estrella con respecto al fondo que parece no moverse y en julio hacemos lo mismo y logramos ver que la estrella se mueve con respecto al fondo entre enero y julio, podremos determinar la distancia a

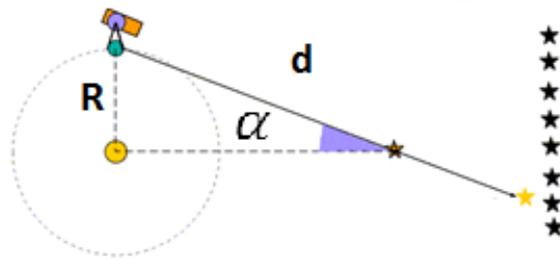


Figura 19 Ilustración del método de paralaje.

dicha estrella. La idea es ver cuantos segundos de arco se mueve con respecto al fondo y trabajar un poco de trigonometría. Debido a que conocemos un lado (R) y un ángulo (α) del triángulo recto formado por la Tierra, el Sol y el objeto analizado, podemos derivar la distancia a la estrella, ver figura 19. La relación trigonométrica es:

$$d = \frac{R}{\text{sena}} \quad (7)$$

Al medir distancias de objetos que se encuentran a más de 100 años luz el método de la paralaje falla y se debe utilizar un método alternativo que se basa en la ley de la inversa de los cuadrados, y la ley de Pogson.

La ley de la inversa del cuadrado establece que para una onda como, por ejemplo la luz, que se propaga desde una fuente puntual en todas direcciones por igual, la intensidad de la misma disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia a la fuente de emisión. En la figura 20 se muestra la emisión de una

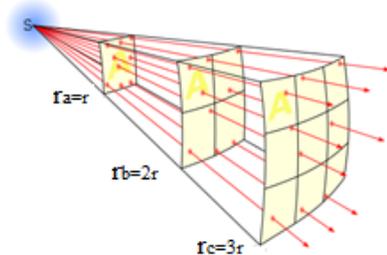


Figura 20 Propagación del frente de onda desde un foco puntual.

frente puntual y como la intensidad de la onda comienza a disminuir con el cuadrado de la distancia. Matemáticamente la ley se puede escribir como:

$$I_{(r)} = \frac{P_0}{4\pi r^2}, \quad (8)$$

P_0 es la potencia emitida por la fuente y r es la distancia desde la fuente al lugar donde se quiere conocer la intensidad de la onda. La intensidad relativa de un mismo tipo de fuente (igual potencia) del lugar b respecto del a se obtiene:

$$I_{relativa} = \frac{I(r_b)}{I(r_a)} = \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^2 \quad (9)$$

La ley de Pogson brinda una forma de obtener la distancia a una estrella en parsecs⁸, utilizando el concepto de magnitud absoluta y magnitud aparente de una estrella. La magnitud aparente de una estrella (m) se asocia a lo visual, el brillo y se ordena de 1 a 6 (m_1, m_2, \dots, m_6). La magnitud absoluta de una estrella (M) es la magnitud de una estrella que está ubicada a 10 parsecs del observador.

La intensidad de la luz de una fuente varía como una progresión geométrica⁹ y la magnitud de una estrella (lo que observo) lo hace como progresión aritmética¹⁰. Si realizamos el cociente entre las intensidades $\left(\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = \frac{I_3}{I_4} = \frac{I_4}{I_5} = \frac{I_5}{I_6} = k\right)$ la razón es $r=k$, siendo k constante. Por su parte, si restamos las magnitudes consecutivas ($m_2 - m_1 = m_3 - m_2 = m_4 - m_3 = m_5 - m_4 = m_6 - m_5 = d$) la diferencia es $d=1$.

Si multiplicamos los cocientes, $\frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{I_3}{I_4} \cdot \frac{I_4}{I_5} \cdot \frac{I_5}{I_6} = k^5$, esto equivale a $\frac{I_1}{I_6} = k^5$. La intensidad de una estrella de magnitud 1 es 100 veces la intensidad de una estrella de magnitud 6 y por eso $k \cong 2.512$.

Puede escribirse: $\frac{I_1}{I_6} = k^{(m_6 - m_1)}$ ya que la diferencia de la progresión aritmética es 1. A su vez las intensidades pueden plantearse de forma explícita y simplificarse para obtener:

⁸ Abreviado “pc”, es una unidad de medida astronómica para grandes distancias. Se define como la distancia entre un objeto A y un objeto B cuando el objeto B subtende un ángulo de 1 segundo con un objeto C ubicado a 1 UA de A. Equivalencia: $1pc \approx 3.26$ años luz

⁹ Una progresión geométrica es una secuencia en la que el elemento siguiente se obtiene multiplicando el elemento anterior por una constante denominada razón o factor de la progresión. La razón se obtiene usando: $r = \frac{a_n}{a_{n-1}}$, se divide un término entre el anterior.

¹⁰ Una progresión aritmética es una sucesión de números tales que cada uno de ellos (salvo el primero) es igual al anterior más un número fijo llamado diferencia que se representa por d .

$\left(\frac{r_6}{r_1}\right)^2 = k^{(m_6-m_1)}$. En donde r son las distancias. Si tomamos logaritmo en base 10 a ambos lados y aplicamos propiedades de los logaritmos: $2\log(r_6/r_1) = (m_6-m_1) \log(k)$ y sustituimos los valores numéricos de k y r_1 queda: $5(\log(r_6)-1) = (m_6-m_1)$. Finalmente al reconocer que $m_1 = M$ y que m_6 se generaliza para cualquier m tenemos:

$$(m-M) = 5 \log(r) - 5 \tag{10}$$

Al despejar la distancia r :

$$r = 10^{\left(\frac{m-M+5}{5}\right)} \tag{11}$$

Las variables cefeidas son estrellas jóvenes, de masa intermedia (2-10 masas solares) pulsantes y presentan una ley que vincula su luminosidad media (potencia que irradian) y el periodo de pulsación. Son pulsantes debido a las zonas de hidrógeno ionizado que se encuentran cerca de su superficie. La magnitud absoluta o potencia de unas cefeidas aumenta de manera

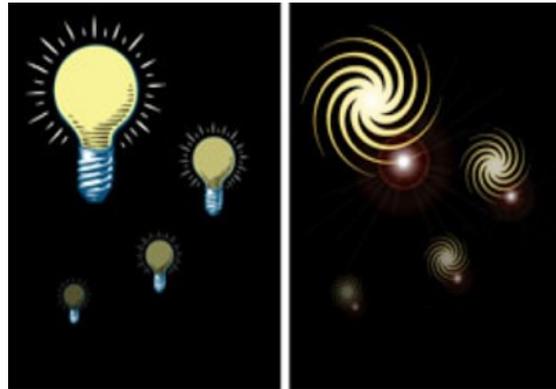


Figura 21 Comparación entre brillos de lamparitas de 60w y brillos de estrellas cefeidas en las galaxias.

proporcional a su período de pulsación. La magnitud aparente de una estrella en el cielo (se observa con un telescopio) depende además de su distancia a la Tierra. Comparando la magnitud aparente con la absoluta se puede determinar la distancia a la que se encuentra. De este modo, las cefeidas pueden utilizarse como indicadores de distancias tanto dentro como fuera de la Vía Láctea. Este efecto es equivalente a observar lámparas de una misma potencia, distribuidas a distintas distancias. Claramente, las más lejanas se verán menos brillantes que las más cercanas, ver figura 21. De este modo el brillo aparente nos permitiría conocer sus distancias.

Proyecto

Desafío: La medición de las distancias a las galaxias lejanas requiere conocer las magnitudes absolutas y aparentes de una estrella. La ley de la inversa del cuadrado es la base de este método. ¿Cómo podemos determinar la ubicación de objetos a través de su

iluminación? ¿Qué es la ley de la inversa del cuadrado? ¿Cómo se relaciona con la ley de Pogson?

Equipos necesarios: dos teléfonos inteligentes (fuente emisora y el sensor de luz) y un banco de óptico casero con marcas cada 5.0 cm para facilitar la medida de la distancia entre la fuente y el detector.

Sugerencias de trabajo

Disponer de los smartphones en el banco óptico como lo muestra la figura 22. Es conveniente que inicialmente la fuente (flash) este al menos 10 cm del sensor de luz para aproximarnos al modelo de puntual. Los detectores de luz, en general, miden una magnitud que es directamente proporcional a la intensidad de onda que se conoce como iluminancia. Su unidad es el lux, lx.



Figura 22 Equipamiento básico para estudiar la ley de la inversa del cuadrado.

Grafique la iluminancia en función de la distancia (r) y en función de $\frac{1}{r^2}$. Realice el ajuste de sus datos.

¿Se ajustan sus datos al modelo teórico de la ley del inverso del cuadrado?

¿Dé que forma podemos saber la iluminancia de la fuente si la distancia es 33.0 cm? Explique

Ejercicio

Un telescopio al enfocarse en una estrella cuya magnitud absoluta es $M=-22$ determina que la magnitud aparente es $m= 12.30$. ¿Dé que forma podemos obtener su distancia respecto de Tierra? ¿A qué distancia se encuentra? Expresa el resultado en Mpc.

x(cm)	I(lux)
10.0	3620.3
15.0	1609.0
20.0	905.1
25.0	579.2
30.0	402.3
35.0	295.5
40.0	226.3
45.0	178.8

La siguiente tabla ofrece algunos datos de iluminancia, proporcionada por una fuente que puede modelarse como puntual, y las distancias entre el sensor de luz y la fuente. ¿Cumplen estos datos la ley de la inversa del cuadrado?

¿Las galaxias se alejan de nosotros?

Introducción

Seguramente todos hemos escuchado el sonido de la sirena de un vehículo que pasa por la calle, en especial, el cambio del tono de la sirena justamente al momento de pasarnos. Este conspicuo cambio de tono es muy evidente para el observador que está en la vereda, pero no para los pasajeros del vehículo. Si hubiésemos viajado en un coche a la misma velocidad que el vehículo con la sirena tampoco hubiéramos notado este cambio. Así, nos encontramos frente a un fenómeno en el que dos observadores que se mueven a una velocidad constante uno del otro, es decir dos observadores inerciales, perciben efectos físicos muy diferentes. Cuando una fuente de sonido en movimiento se nos acerca, percibimos una mayor frecuencia que la emitida, es decir, al tono lo escuchamos más agudo. En cambio, al alejarse la fuente, el tono escuchado es más grave (Gil, 2014; Young y Freedman, 2009).

Una manera simple de comprender este efecto se puede lograr con la siguiente analogía (Chakarvarti, 1981; Gibbs 2013). Suponga que trabaja en una fábrica envasando chocolates que vienen hacia usted por una cinta transportadora que se mueve a velocidad constante c , figura 23. En un extremo de la cinta, un repositor pone los chocolates sobre la cinta (fuente de chocolates) a un ritmo constante, f_o . Los chocolates por lo tanto, llegarán a usted (receptor) al mismo ritmo f_o en que los depositó la otra persona (fuente). Ahora imagine que usted se acerca a la fuente con velocidad v_o paralela a la cinta. Es claro que recogerá más chocolates por unidad de tiempo que en el caso anterior y su tasa de recolección f aumentará conforme sea mayor la relación $\frac{v_o}{c}$. Por otra parte, si el repositor de chocolates (fuente) se mueve hacia usted con velocidad v los chocolates sobre la cinta estarán más cerca uno de otro y usted los recibirá a una tasa mayor, según sea la relación $\frac{v}{c}$. Similarmente, si la persona que coloca los chocolates se mueve alejándose de usted, el espaciado de los chocolates en la cinta aumentará y la tasa de recepción f disminuirá. Esta analogía sirve para ilustrar la variación en una tasa o frecuencia de un proceso cuando el emisor o receptor se mueven respecto del otro y en relación al medio de transmisión (cinta transportadora en este caso).

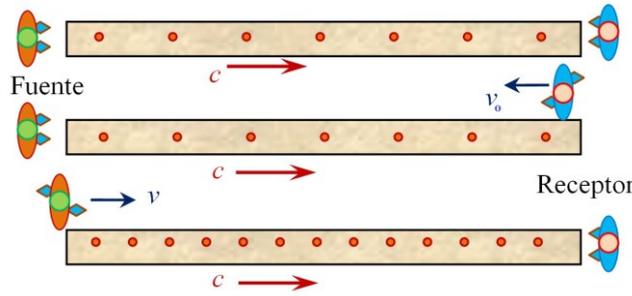


Figura 23 Tres situaciones de un repositor (fuente) y un receptor de chocolates sobre una cinta transportadora. (Arriba) Fuente y receptor en reposo. (Centro) Receptor acercándose a la fuente. (Abajo) Fuente acercándose al receptor.

Para el caso de fenómenos ondulatorios, este efecto es conocido como efecto Doppler. Cuando una fuente emisora está en movimiento respecto a un observador estacionario la frecuencia f detectada por éste viene dada por:

$$f = f_o \frac{c}{c \pm v} \tag{12}$$

donde f_o es la frecuencia emitida por la fuente, c es la velocidad del sonido respecto del aire y v es la velocidad de la fuente respecto del medio. El signo negativo se usa cuando la fuente se acerca al observador y el signo positivo cuando se aleja (Resnick et al. 2001). Si no hay movimiento relativo entre el observador y la fuente, ambos miden la misma frecuencia.

Este fenómeno ocurre con todas las ondas, incluyendo las ondas electromagnéticas, como lo son la luz, las ondas de radio, de TV, etc. Si una fuente de luz amarilla en movimiento (a velocidades “muy grandes”: $\frac{v}{c} \rightarrow 1$) se nos acerca observamos un aumento de la frecuencia (los colores se vuelven más azules) y si se nos aleja, el color de la fuente se vuelve más rojizo, ver figura 24.

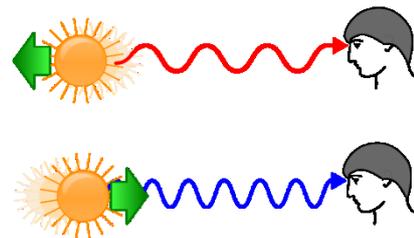


Figura 24 Corrimiento en frecuencia debido al efecto Doppler.

En este caso la frecuencia percibida se obtiene con (Resnick, Halliday y Kenneth, 2007):

$$f = f_0 \sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}}, \quad (13)$$

donde f_0 es la frecuencia emitida por la fuente, c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de la fuente respecto del observador. Los signos superiores de la ecuación se utilizan cuando la fuente se aproxima al observador, y los inferiores cuando se aleja de este.

La velocidad de propagación de las ondas se relaciona con su longitud de onda y frecuencia a través de $c = \lambda f$, de donde fácilmente se puede despejar la longitud de onda.

En resumen:

- ✚ Cuando una fuente se acerca, la frecuencia emitida aumenta (sonido más agudo, color más azul)
- ✚ Cuando una fuente se aleja, la frecuencia emitida disminuye (sonido más grave, color más rojo)

Proyecto

Desafío: En este experimento queremos determinar la velocidad que adquiere el bulbo (smartphone) de un péndulo en su posición más baja usando dos métodos diferentes (Gil y Di Laccio, 2017; Di Laccio, Ferrón, Gil, y Alonso-Suárez, 2017). Por un lado usando el largo del péndulo y su velocidad angular y por otro usando el cambio de frecuencia Doppler en un caso como el de la ecuación (12).

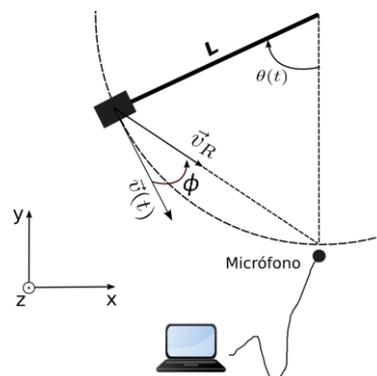


Figura 25 Esquema del dispositivo experimental.

Los smartphones nos permiten generar un tono de frecuencia bien definida, medir sin dificultades la velocidad angular del péndulo y de ser necesario grabar el sonido.

Equipos necesarios: péndulo, dos teléfonos inteligentes (smartphones), un micrófono y un ordenador personal o PC.

En la figura 25, se muestra un esquema del dispositivo experimental. El smartphone conforma el bulbo de un péndulo de longitud L , que oscila en un plano vertical.

Sugerencias de trabajo

Realiza el montaje de la figura 25. Procure que el largo del péndulo sea mayor a un metro. El bulbo del péndulo es uno de los smartphones, este tendrá dos funciones: 1) emitir un tono de frecuencia 4.0 KHz y 2) registrar, con el sensor giroscopio, la velocidad angular del sistema en torno al eje de sujeción (configurando la medición con una frecuencia de muestreo adecuada a sus intereses). El otro smartphone se ubica en la posición más baja de la trayectoria del bulbo y será el encargado de grabar el tono percibido por un observador estacionario. Si lo desea la grabación puede realizarla directamente con la PC y un micrófono conectado a esta (Di Laccio, Vitale, Alonso-Suárez, Pérez, y Gil, 2017).

Libere el péndulo desde el reposo usando un ángulo mayor a 45° respecto de la vertical y simultáneamente: inicie la medición de la velocidad angular, la emisión del tono y la grabación. Procure hacer silencio durante la toma de datos.

Grafique la velocidad angular en función del tiempo. Analice su gráfico y describa a que partes del movimiento real están asociadas las diferentes regiones. Determine la velocidad tangencial, $v = \omega L$, del bulbo al pasar por la posición más baja de la trayectoria. ¿Qué cambio de frecuencia Doppler espera?

Con el audio obtenido de la grabación y usando un programa que permita realizar un análisis tiempo frecuencia (Por ejemplo: Spectrogram16 (W5big, 2004)) determine las frecuencias medidas por un observador en reposo. ¿Qué frecuencia obtiene en la posición más baja de la trayectoria? ¿Está de acuerdo con la determinación basada en calcular la velocidad del bulbo?

Luego de discutir los resultados de este experimento, ¿considera usted que conocidas las frecuencias de dos observadores en movimiento relativo la ecuación (12) podría usarse para determinar velocidades? Justifique

Ejercicios (Young, Freedman, 2009)

Extrapolando algunas ideas del efecto Doppler estudiado a las ondas electromagnéticas: Una estrella se aleja de la Tierra y mediante un espectrómetro se observa que la línea D2 del Sodio (5890\AA) se corre a 5920\AA . ¿La frecuencia aumenta o disminuye? ¿Cuánto vale la nueva frecuencia? ¿Cuánto vale la velocidad de la estrella respecto de Tierra? Expresa el resultado en fracciones de la rapidez de la luz.

¿Cuál es la edad del universo?

Introducción

Los orígenes del universo y la vida han sido cuestiones que siempre han cautivado a la humanidad. De hecho el Génesis es el primer libro de la Biblia. La cosmología estudia el origen y el estado actual del universo. Según la visión actual de la ciencia, el Universo tuvo su origen en un evento conocido como el Big Bang (BB) hace unos 15 mil millones de años. Esta teoría científica, se basa en muchas observaciones empíricas que se fueron acumulando a lo largo de casi todo el siglo XX y estos estudios y observaciones prosiguen realizándose actualmente. Uno de los primeros indicios de este evento (el Big Bang) provinieron del descubrimiento realizado por E. Hubble, en la década de 1920, de que el Universo se está expandiendo y las galaxias se alejan entre sí.

Si las Galaxias se están separando, es claro que en el pasado ellas estaban más cerca. Retrocediendo lo suficiente en el tiempo se llega a la conclusión de que todo el Universo parece haber salido de un único punto, como si todo hubiese estallado o explotado de dicho punto. Esta gran explosión la designamos como el Big Bang.

Edwin Powell Hubble nació en Marshfield, Missouri, en 1889. Obtuvo una beca Rhodes de la universidad de Oxford y fue un atleta consumado. Estudió Derecho y durante algún tiempo ejerció como abogado en Kentucky, aunque pronto dejó esta profesión. Su pasión era la astronomía. A pesar de su poco ortodoxa formación académica logró una posición en el observatorio Mount Wilson de California, donde estaba el mayor telescopio del mundo con un espejo de 2.5 m de diámetro. Hubble estudió las propiedades de las variables cefeidas. Esta técnica permitió conocer la distribución de las Galaxias en el espacio.

Otro notable descubrimiento de Hubble, conjuntamente con Humason, fue encontrar que todas las galaxias presentaban un corrimiento hacia el rojo en sus espectros, “red shift”. En 1929 Hubble presentó sus investigaciones sobre los desplazamientos al rojo de los espectros de unas 46 nebulosas extra galácticas, con unos 24 datos muy bien medidos. Al graficar las velocidades de alejamiento de las 24 nebulosas (obtenidas de los enrojecimientos de sus espectros) en función de sus distancias, encontró una relación lineal:

$$v=H_0d \quad (14)$$

La rapidez de retroceso v de una galaxia es proporcional a su distancia d de nosotros, H_0 es una cantidad experimental conocida como constante de Hubble. La determinación de H_0 ha sido un objetivo clave del telescopio espacial Hubble, que puede medir distancias a galaxias con exactitud sin precedente.

El mejor valor actual es $2.3 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$, con una incertidumbre del 5%. La unidad habitual para las distancias astronómicas es el parsec (pc). Una distancia de 1 pc es igual a 3.26 años luz (al). La constante de Hubble se suele expresar en las unidades mezcladas (km/s)/Mpc, kilómetros por segundo por megaparsec, siendo $1 \text{ Mpc}=10^6 \text{ pc}$. Con esto:

$$H_0=71 \frac{\text{Km/s}}{\text{Mpc}}$$

Lo notable del descubrimiento de Hubble y Humason es que encontraron que todas las galaxias presentaban un “red shift” o sea que todas parecían alejarse de nosotros, con una velocidad (medida por el corrimiento de su espectro al rojo) tanto mayor cuanto más alejada estaba.

Proyectos

¿Cómo se alejan los puntos de un elástico?

Desafío: Determinar la ley que rige la separación de puntos de un elástico graficando velocidad en función de la distancia.

Equipos necesarios: Para esta actividad usted necesita un elástico de al menos un centímetro de espesor y un metro de largo, un marcador y una regla.

Sugerencias de trabajo:

- En el elástico, cada 10.0 cm marque un punto, iniciando sobre uno de los bordes del elástico. Nombre dos puntos al azar con A y otro B. Ver figura 26.

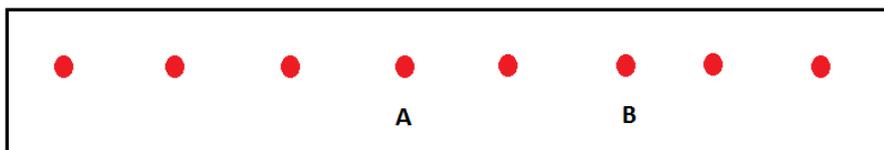


Figura 26 Elástico y sus marcas equiespaciadas.

- Estire el elástico y mida desde A las distancias a los demás puntos. Repita lo anterior midiendo ahora desde B. Para cada uno de los casos construya un cuadro de datos.
- Suponga ahora que el estiramiento se realizó en un tiempo de 1 s, entonces calcule la velocidad de cada punto respecto de otro tomado como referencia. Grafique velocidad en función de la distancia. ¿Qué tipo de relación obtuvo? ¿Los diferentes puntos se alejan a la misma velocidad? Explique.

¿Cómo sabemos que el universo está en expansión? ¿Qué es el Big Bang?

Desafío: Usted se encuentra en un observatorio el cual tiene un potente telescopio con un espectrómetro. Su tarea es medir la distancia desde las galaxias a la Tierra y la velocidad de alejamiento de cada una de ellas para estudiar la ley que rige su comportamiento. Además debe brindar una estimación de la edad del universo sobre la base de su estudio y compararlo con otras fuentes.

Equipos necesarios: software de simulación de telescopio, tutorial de uso y hoja de cálculo. El simulador puede descargarlo desde: Hubble

Sugerencias de trabajo:

Descargue el simulador, inicie el programa y luego registre los integrantes del equipo. En el siguiente link puede realizar la descarga:

<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/hublab.html>

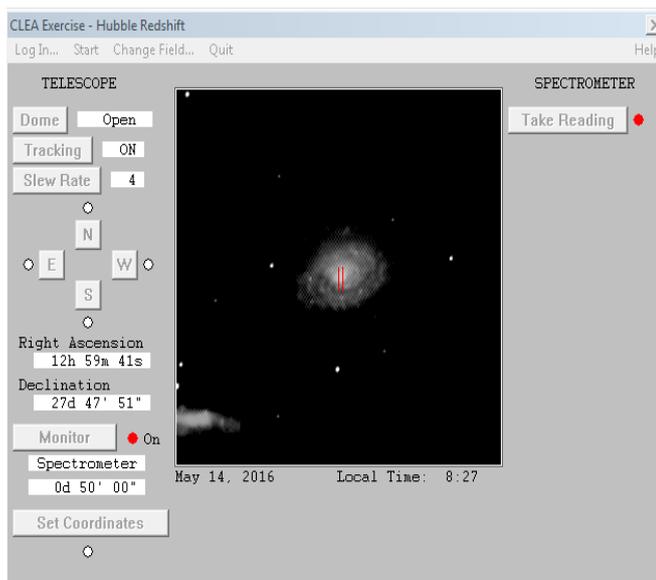


Figura 27 Simulador de telescopio, permite obtener el espectro de la galaxia así como la distancia a la que se encuentra.

Adicionalmente cuenta con un manual de uso del simulador así como con una hoja de cálculo para procesar los datos obtenidos.

Explore de forma general las diferentes posibilidades que ofrece el simulador, luego descubra la cúpula, ver figura 27. El telescopio ofrece diferentes posibilidades: varios campos de visualización, la posibilidad de navegar en el campo visual con ajuste grueso y fino, el activar el espectrómetro y recolectar radiación proveniente de la galaxia para conocer si se acerca o aleja, a partir de la longitud de onda que se registra del espectro de elementos conocidos. La recolección de datos para el espectro tiene una nueva ventana con el aspecto de la figura 28.

Utilice el simulador del telescopio y para cada uno de los campos posibles elija una galaxia. Determine para cada una de ellas la velocidad de alejamiento y la distancia a la que se encuentra de la Tierra. Para esto usted cuenta con la hoja de cálculo y el manual. Necesita: la magnitud absoluta $M=-22$, la longitud de onda de la línea K de calcio, $3,933.67 \text{ \AA}$ y de la línea H de calcio es $3968,847 \text{ \AA}$ en laboratorio.

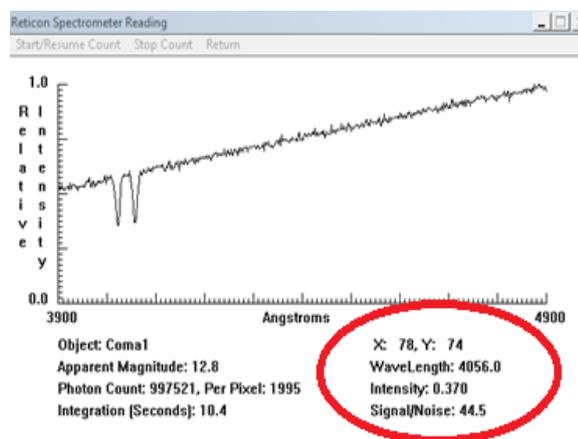


Figura 28 Espectro del Objeto Coma 1, su magnitud aparente (m) es 12.8, la intensidad es 0.370 y la longitud de

Utilizando estos datos, grafique la velocidad de alejamiento de las galaxias lejanas como función de su distancia. ¿Qué tipo de dependencia observa? ¿Pueden estos datos describirse por una relación lineal? ¿Tiene algo de similar con el experimento del elástico? ¿Qué?

Si la dependencia de la velocidad v en función de la distancia d es lineal, es decir si $v = H d$, determine el valor de H en unidades de km/s/Mpc y en $1/\text{s}$.

Una consecuencia interesante de la relación $v = Hd$ es que, si observamos el universo actual, el universo se está expandiendo. Por lo tanto, en el pasado debe haber sido más pequeño. Si hacemos “retroceder la película”, podemos preguntarnos hace cuánto tiempo (T_{BB}), una dada galaxia que hoy está a una distancia d_0 , estaba junto a nosotros. Si la velocidad de alejamiento fue constante, podemos decir que $T_{BB} = \frac{d_0}{v} = \frac{1}{H}$. Por lo tanto, si $v = Hd$, el tiempo T_{BB} no depende de la distancia d_0 y es igual para todas las galaxias. En otras palabras, T_{BB} mide el tiempo en que todas las galaxias estaban juntas, incluyendo la nuestra. A partir de ese momento el universo estuvo en expansión, como lo observamos en el presente. Por lo tanto, $T_{BB} = \frac{1}{H}$ representa el tiempo en el que se inició el universo o sea, ¡el momento del Big Bang! Todos los protones, neutrones y electrones que forman parte de nuestro cuerpo, de la Tierra, el Sol y el resto de las galaxias se formaron en ese instante. En otras palabras, los que estamos buscando es justamente es el día de nuestro nacimiento. Compare el tiempo encontrado de su gráfico con otros tiempos que den información sobre el origen del universo. ¿Es el dato encontrado por usted consistente con lo que se sabe acerca de cuándo ocurrió el Big Bang?

Ejercicios (Young, Freedman, 2009)

- 1) El espectro del átomo de sodio se detecta en la luz de una galaxia lejana.
 - a) Si la línea de 590.0 nm presenta corrimiento al rojo hasta 658.5 nm, ¿a qué rapidez se aleja esa galaxia de la Tierra?
 - b) Use la ley de Hubble para calcular la distancia de la Tierra a la galaxia.
- 2) a) De acuerdo con la ley de Hubble, ¿cuál es la distancia r hasta las galaxias que se alejan de nosotros con una rapidez c ? b) Explique por qué la distancia calculada en el inciso a) es el tamaño de nuestro Universo observable (sin tomar en cuenta desaceleración alguna en la expansión del Universo debida a la atracción gravitatoria).
- 3) Una galaxia en la constelación de Piscis está a 5210 Mal (millones de años luz) de la Tierra. a) Use la ley de Hubble para calcular la rapidez con que esa galaxia se está alejando de la Tierra. b) ¿Qué relación de corrimiento al rojo, $\frac{\lambda_0}{\lambda_s}$, se espera en la luz de esa galaxia?

Intervención en 3^{er} de bachillerato de opciones: ingeniería y medicina

Estudiantes de opción: Ingeniería

Los docentes fueron los encargados de chequear la tarea grupal 1, elaboración de una hoja de cálculo de los datos y su procesamiento. El trabajo docente estuvo centrado en la orientación de los estudiantes y responderles preguntas a requerimiento. De acuerdo con la opinión del docente y revisadas las hojas de cálculo todos los integrantes de los grupos pudieron lograr el trabajo propuesto. Se detectaron algunas dificultades en el uso de la hoja de cálculo que se fueron sorteando en el desarrollo del procesamiento.

La tarea grupal 2, preguntas generales de la actividad, fue realizada por 8 estudiantes, todos lograron presentar el trabajo. Del análisis de los trabajos se evidencian aciertos y dificultades. Los aciertos están referidos a la descripción general del experimento y detalles de la realización. Las dificultades principales se asocian a lo sintético (explicaciones de un renglón) e incompleto de las respuestas, errores en los gráficos y en no poder predecir el tiempo transcurrido para una altura a partir de la función obtenida del ajuste de la ley estudiada. Solamente dos de los cinco equipos logran responder la parte f) (Seleccione una fotografía de su experimento y mediante el uso de la gráfica de altura en función del tiempo obtenida realice la predicción de

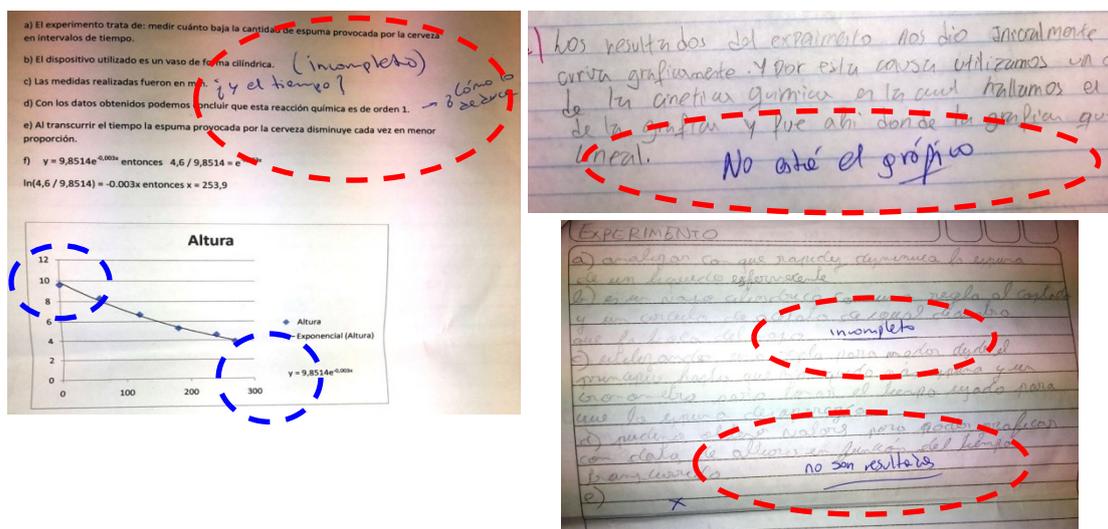


Figura 29 Fragmentos de la actividad 2. Con óvalos punteados rojos las anotaciones docentes y con azules la indicación de no corrección. cuánto tiempo hace que la espuma está decayendo. ¿Cómo lo sabe?). En los relatos no se detecta explícitamente la conexión del experimento de decaimiento de la espuma de

la cerveza con el fenómeno de decaimiento radiactivo. En sus explicaciones hay menciones al tema cinética química que habían estudiado anteriormente¹¹.

En la figura 29, a la izquierda con un óvalo azul punteado, se indica que no han etiquetado correctamente los ejes y no ha sido corregido por el docente. Con óvalos punteados rojos se indica el tipo de corrección docente, siendo esta la forma habitual utilizada en clase. No se realiza retroalimentación formativa para el estudiante, solamente se indica el grado de completitud o no y los errores.

La primera de las tareas individuales fue realizada por siete estudiantes y la segunda por solamente uno. Se les solicitó a los docentes que realizaran la corrección de la tarea 1 antes de pasar a la tarea dos. A continuación se presentan algunos trabajos de los estudiantes y las correcciones realizadas.

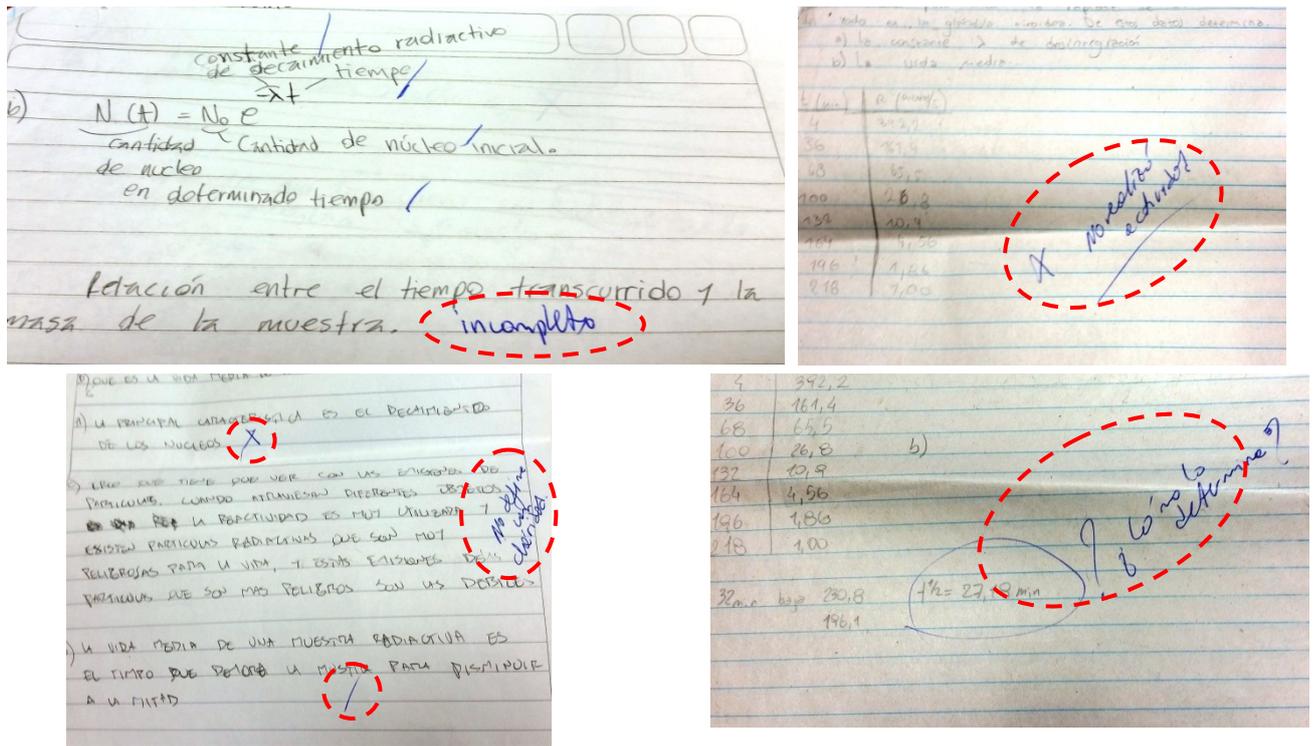


Figura 30 Trabajos de algunos estudiantes en la tarea individual 1.

¹¹ Es de notar que el docente optó por realizar el experimento sin antes nombrar el tema decaimiento como se había sugerido en la capacitación previa. Pensó que luego de engancharlos podría conectar de mejor manera.

En esta tarea, de forma general no hay una mejora sustantiva de la calidad de los trabajos de los estudiantes. Existe un intento de respuestas pero nuevamente se evidencia la falta de conexión entre el experimento que actúa como nexo y con conocimiento a enseñar. El docente mantiene el estilo de corrección de los trabajos a la forma habitual. La tarea individual 2 solamente fue realizada por un estudiante de forma correcta, los demás estudiantes esgrimiendo motivos de que la calificación obtenida no iba a la calificación del curso decidieron no realizarla.

Estudiantes de opción: Medicina

En este caso el experimento lo realizaron siete estudiantes en dos grupos, uno de tres integrantes y otro de cuatro. Presentan la hoja de cálculo sin inconvenientes y mientras desarrollaban el experimento el docente los ayudaba con la tarea. La tarea grupal 2 fue realizada con éxito, solamente en uno de los ítems, un solo grupo tuvo corrección de incompleto, ver figura 31.

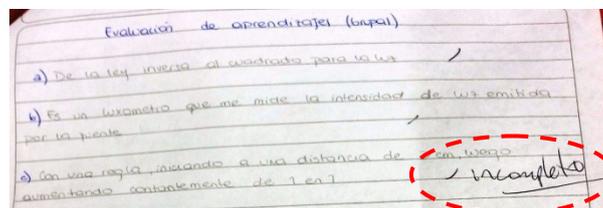


Figura 31 Ítem incompleto, único detalle de uno de los grupos.

Las tareas individuales fueron realizadas en general por todos los estudiantes, nueve participaron en la primera y siete en la segunda. Todos los estudiantes respondieron a la primera actividad de preguntas, con mayor o menor acierto en sus respuestas. En estas, no aparecen referencias al experimento realizado sobre ley inversa del cuadrado¹². La tarea individual 2, de realización de gráficos, fue en general exitosa pero aparecen errores al graficar usando la hoja de cálculo. Muchos estudiantes entregaron los gráficos en papel cuadriculado y en uno de los casos usó una escala tal que necesitó alrededor de 4 hojas de papel cuadriculado, no logrando seleccionar una escala adecuada.

¹² La corrección docente se centra en marcar errores o señalar que está incompleto. No se realiza una instancia de retroalimentación formativa.

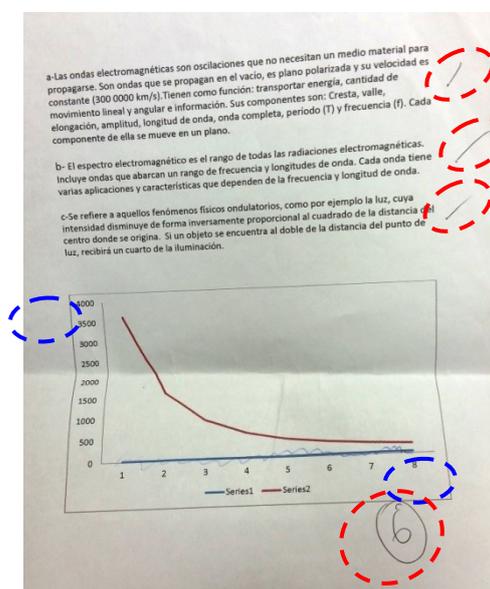
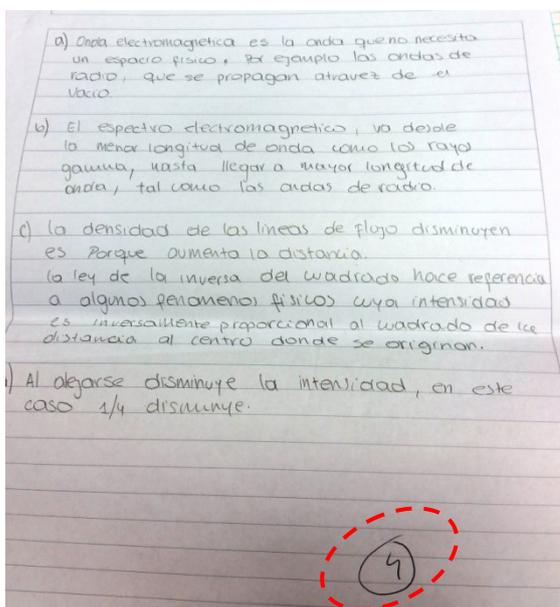
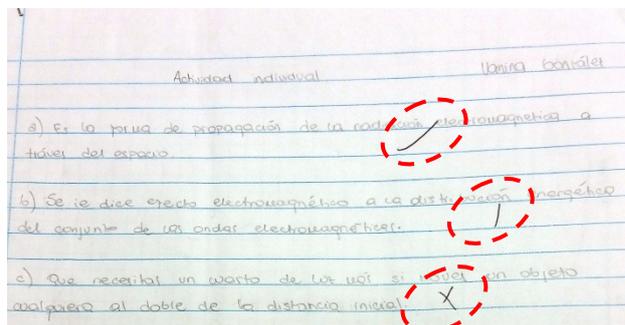
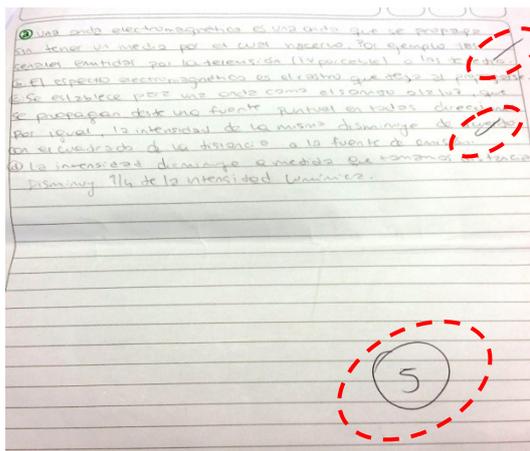


Figura 32 Tarea individual 1 y uno de los gráficos realizados con hoja de cálculo.

Opinión de los Docentes

Uno de los docentes encuentra que el haber tenido instancias previas antes de implementar las clases fueron útiles para intentar correrse de su postura tradicional, esto se evidencia, cuando afirma “En general las charlas previas que tuvimos antes de desarrollar las clases fueron de gran utilidad, ya que personalmente soy un docente con fuerte tendencia a lo tradicional (clases centradas en el conocimiento).”.

Por otra parte identifica dos obstáculos para su desarrollo: los estudiantes y los docentes. A decir de uno de los docente, “La principal dificultad que éste modelo de enseñanza tendría serían los docentes, ya que a muchos no les interesa cambiar sus métodos. Hacer lo que hacen siempre parecería ser la única alternativa para enseñar, la cual funciona solamente para muy pocos alumnos.”. En otro pasaje al referirse a los

estudiantes agrega, “Pero esto les cuesta muchísimo, ya que llevan años de formación en un estilo muy distinto.”

Al parecer de uno de los docentes la experiencia motiva a los estudiantes más allá de lo pedido, “Los alumnos llevaron más allá lo planteado al filmar un vídeo, para dejar registro de lo realizado, además de la elaboración de soportes para el celular con el fin de tomar fotografías desde una misma posición.” También entiende que la propuesta es atractiva, “El desarrollo de la práctica y el análisis de los resultados fue lo que resultó más atractivo a los alumnos y es lo que marcó la diferencia con respecto a otras técnicas que se emplean comúnmente.”

La motivación en el aula cambio, “Al realizar ese cambio la motivación de los alumnos cambió positivamente ya que algunos afirmaron que “les gustaba aprender haciendo y no escuchándome a mí”, claro que fue un pequeño golpe para mi orgullo.” Uno de los docentes entiende que esta forma de trabajo podría utilizarse como alternativa a las prácticas habituales, “Personalmente creo que este cambio respecto al modelo tradicional debería comenzar a utilizarse en forma alternativa para aquellos estudiantes que no aprenden por imitación del docente, sino que lo hacen haciendo ellos mismos.”.

La evaluación tuvo efectos diferentes sobre los estudiantes, en uno de los grupos fueron rechazados “Las evaluaciones posteriores de índole más conceptual fueron en alguno de los casos rechazadas, por no estar estrechamente relacionadas con el curso o más bien con su influencia en la calificación del curso.” En el otro caso sirvió ya que ellos sabían lo que se pretendía desde un principio “Ello facilitó la evaluación ya que los alumnos sabían de antemano el qué y el cómo se les iba a evaluar, la cual estaba en función de sus ideas iniciales y no en función de mi conocimiento teórico.”.

Supuestos y hallazgos

- 1) En los programas de física y química de secundaria los contenidos de física moderna son un apretado resumen de otros programas de nivel terciario para estudiantes más avanzados. Los contenidos propuestos en los programas son muy extensos para los tiempos reales asignados.

Hallazgo: Efectivamente es así, el análisis de los programas de nivel terciario muestra que los contenidos que se proponen para estudiantes avanzados son los mismos que se propone para estudiantes de secundaria, aunque no al mismo nivel pero si en la secuencia de estos. Los tiempos dedicados en uno u otro ámbito son muy dispares al igual que las características de uno y otros estudiantes. En el nivel terciario los cursos van de semestrales o anuales mientras que en secundaria son un par de semanas para tratar la misma cantidad de contenidos.

Los contenidos propuestos se correlacionan con los contenidos de los diferentes textos que se usan para dictar los cursos en niveles superiores. Las metodologías que generalmente se utilizan están acordes a presentación de teoría y realización de ejercicios que es el formato habitual de los libros de texto. Algunos libros de texto privilegian la resolución de ejercicios por encima del desarrollo conceptual ya que tienen una densidad de ejercicios del orden de la densidad de teoría. Los texto no proponen experimentos y eso se refleja en la forma de enseñar. Se identifican tres parcelas: teórico, práctico y experimento por separado.

- 2) La formación de base que tienen los docentes de secundaria de física y química es insuficiente como para que puedan sentirse cómodos al enseñarla desde la perspectiva interdisciplinar. Los programas son muy ambiciosos desde la teoría y no favorecen la realización de experimentos. Se privilegian las informaciones y la resolución de ejercicios por encima de la comprensión conceptual del tema.

Hallazgo: La formación que se le brinda en física moderna a un futuro profesor de física es mayor en contenidos y tiempo que a la de su par de química. En el caso de física tienen curso anual exclusivo de la temática y en el otro se incorporan contenidos “mechados en diferentes partes de los programas” Física II y Química general II. Si bien

los programas de secundaria ponen el acento en la realización de experimentos y manejo de competencias transversales no son los contenidos de física moderna los que contribuyen a esto de forma significativa. Se privilegia la extensión de forma superficial y el resolver ejercicios por sobre el tratamiento de contenidos transversales y competencias necesarias para los estudiantes de la escuela del siglo XXI. Es complejo trasponer aquellos contenidos que no han sido debidamente internalizados por el futuro docente en cuanto a los conocimientos y las estrategias más favorables para su enseñanza.

- 3) Los programas de secundaria presentan contenidos de física moderna en las asignaturas física y química pero no están articulados entre sí. No se facilita explícitamente desde el propio programa el trabajo interdisciplinario.

Hallazgo: No hay una articulación explícita en contenidos teóricos, la fuerte articulación entre los programas está en la coordinación de aspectos transversales del laboratorio: medir cuidadosamente, expresar correctamente medidas, graficar, ajustar datos, discutir resultados, informar entre otros. El desarrollo de mini proyectos abordado por duplas de docentes podría ser un punto que permita la articulación de forma natural.

- 4) A nivel de referentes existe acuerdo en que en secundaria se debe enseñar física moderna y principalmente en bachillerato. También concuerdan de que hay algunos temas que son indispensables. Los contenidos de física moderna podrían ser abordados tanto por un profesor de física como de química.

Hallazgo: Los informantes claves consultados están de acuerdo en incluir física moderna en la enseñanza secundaria. Los programas así lo hacen. Existen algunos temas que siempre son seleccionados: efecto fotoeléctrico, el espectro electromagnético, nociones de relatividad especial, el átomo de Bohr, principio de incertidumbre, ondas de Broglie, entre otros.

- 5) Es posible generar proyectos experimentales con el concepto de laboratorio de bajo costo para Física Moderna.

Hallazgo: Los mini proyectos experimentales se han desarrollado, aunque no todos hayan sido probados en la enseñanza secundaria. Se evidencia que es muy importante el rol docente en la conexión de la propuesta con el contenido de física moderna a realizar. Sin la mirada y el involucramiento docente los mini proyectos podrían no ser aprovechados en profundidad por los estudiantes. Otro de los aspectos a tener en cuenta es que los mini proyectos se elaboran como motivación para los docentes, en el sentido de que son propuestas perfectibles y adaptables a las necesidades, una puerta que se abre.

- 6) El trabajo en mini proyectos experimentales con inclusión de TIC activa la motivación intrínseca de los estudiantes y permite que adquieran competencias que no solo le servirán para el tema sino para otras actividades futuras.

Hallazgo: Uno de los aspectos que rescatan los docentes que aplicaron los mini proyectos es la motivación del estudiante. Es que el estudiante pasa a desempeñar un rol protagónico, una enseñanza centrada en él. Esto, le brinda la posibilidad de entrenar diferentes destrezas, lo que hace que sean bien recibidos por los estudiantes. Sin embargo, un aspecto a mejorar de estos son las evaluaciones de los aprendizajes y como el docente integra las mismas en una propuesta diferente a la tradicional.

- 7) Los docentes con apoyo son receptivos a incluir en sus clases mini proyectos experimentales y se sienten cómodos desarrollándolos. Reconocen los beneficios que tiene este enfoque con respecto de la metodología tradicional.

Hallazgo: Si bien los docentes encuestados manifiestan que los posibles obstáculos a esta forma de trabajo podrían ser ellos mismos debido a su metodología de trabajo o por y los estudiantes por estar acostumbrados a ser mero receptores y no comprometerse en sus procesos de aprendizaje. Trabajar con mini proyectos implica romper estructuras, tanto de docentes como de estudiantes. El cambio nunca es fácil, siempre genera nuevos retos, desafíos, miedos, tensiones, pero confluyen todos los que han participado que vale la pena intentarlo.

Cap. 5 Conclusiones

Las propuestas de contenidos de Física Moderna encontrados en los programas de Química y Física de enseñanza secundaria de Uruguay, son muy similares a los propuestos en cursos de nivel terciario universitario y de formación docente. Los estudiantes de nivel terciario al cursarla tienen mayor madurez, una trayectoria académica previa (cursos de física y matemática) así como motivación intrínseca para culminar su carrera. Esto hace que se adapten a las metodologías expositivas que los docentes proponen en los cursos. Este estudiante es capaz de desarrollar estrategias convenientes para superar los obstáculos que se le presentan.

Cuando los programas diseñados para niveles terciarios se extrapolan linealmente a niveles de secundaria, con estudiantes en plena adolescencia, con mucho menos formación que estudiantes de Ciencia e Ingeniería, con dificultades en la comprensión de conceptos básicos, poca formación matemática y que aún no han decidido que estudiarán luego de finalizar el bachillerato, surge la desmotivación y la falta de interés. La motivación y la intencionalidad por aprender son fundamentales para llegarles a los estudiantes.

La gran actividad y relevancia de las investigaciones en el área de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, indica que hoy en día tenemos más conciencia a nivel mundial de la magnitud del problema que tenemos. Asimismo, surge de manera clara que no disponemos de *una bala de plata* para resolver este gran desafío. Lo que sí parece claro es que a los estudiantes de secundaria no les resulta atractivo escuchar clases teóricas y resolver ejercicios, el mundo actual les muestra cada día formas novedosas de resolver problemas sin el ejercicio clásico de la clase de Física o Química.

También resulta claro de los numerosos estudios realizados en varios países, que cuando el estudiante tiene oportunidad de involucrarse y realizar experimentos, se logra un aprendizaje significativo y duradero. No quiere decir esto, que resolver ejercicios sea malo, esto no es así. Lo que se dice es que si se incluyen en un contexto más amplio de clase tendrán mayor sentido para el estudiante y el docente. Resolver ejercicios de lápiz y papel solamente sirve de poco para el futuro del estudiante, el conocer el valor de la

velocidad de la luz o de la constante de Rydberg no es lo importante, la información está al alcance de todos a un simple clic (Wieman & Perkins, 2005, p.36).

En este trabajo se presentan varias actividades educativas, basadas en la inclusión de laboratorios de bajo costo que podrían ser una alternativa motivante para acercar al estudiante secundario a la Física Moderna. Experimentar, trabajar con el otro y recibir retroalimentación, los motiva y esa motivación actúa como “gancho” y motor de la adquisición de los nuevos conocimientos.

Encontramos que los docentes que aplicaron este enfoque se sienten reconfortados al enseñar y reconocen que sus estudiantes responden con entusiasmo a este tipo de actividades. Las actividades propuestas muestran que es posible para los estudiantes hacer experiencias que los ponen en contacto con conceptos propios de la Física moderna y su metodología de estudio.

Se ha encontrado en la experiencia desarrollada una posibilidad válida para que los estudiantes puedan aprender algunos conceptos de Física Moderna. Esto no quiere decir que esté tema esté cerrado, pero se ha obtenido una alternativa que puede ser útil y viable.

En síntesis, las contribuciones más significativas son:

1. Haber generado en nuestro país un aporte a tener en cuenta en futuras discusiones de diseños programáticos, hay elementos muy importantes de temporalización de temas, textos, selección de contenidos, entre otros referidos a Física Moderna. También de complementación entre cursos de Química y Física de educación secundaria.
2. El haber diseñado un conjunto de actividades experimentales para el aprendizaje de:
 - La radiactividad con una analogía del estudio de la espuma de la cerveza
 - Características de los espectros de emisión usando una lámpara de mercurio
 - Ideas de la radiación de cuerpo negro a partir del uso de la cámara termográfica (accesorio para el smartphone)

- La ley de la inversa de los cuadrados para la luz usando como fuente y medidor de iluminancia un par de smartphones
 - El efecto Doppler con un péndulo y dos smartphones que ayudan a comprender el alejamiento de las galaxias
 - Los rudimentos de la teoría del Big Bang a partir de un simple elástico o utilizando software de descarga gratuita.
3. Haber implementado un par de experimentos en secundaria e identificar los avances de los estudiantes y la impresión de los docentes al enseñarlo.
 4. Haber generado varias contribuciones a revistas con referato y haber participado de diferentes congresos y eventos en donde se compartieron los trabajos, entre ellos se destacan:

Gil, S. y **Di Laccio J. L.** (2017). Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias. *American Journal of Physics Education*, 1305 (1-9). Recuperado de: http://www.lajpe.org/mar17/1305_Salvador_2017.pdf

Di Laccio, J., Vitale, G., Alonso-Suárez, R., Pérez, N. y Gil S. (2017). Estudio del Efecto Doppler usando Smartphones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.14 (3), 637-646. Recuperado de: <http://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3588/0>

Di Laccio, J.L., Rodríguez A. y Gil, S. (2017). Constructos de la motivación: Física en el bar. Libro del *II Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias Básicas* (p. 346-350). Salto, Uruguay.

Di Laccio, J. y Vitale, G. (2016). Experimentos para la enseñanza de la Física Moderna en secundaria: ¿Qué edad tiene el Universo? *I Congreso Internacional de las Ciencias Básicas*. Buenos Aires, Argentina: Recuperado de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cieciba_2016/cieciba.html

Di Laccio, J. y Gil, S. (2016). Sociedad Uruguaya de Física: *Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de XV Reunión "Enrique Loedel Palumbo": <https://drive.google.com/file/d/0B0kKsJdIVNSeczB6VTh5TWFUMWs/view>

Calderón, S., Núñez, P., **Di Laccio, J.L.**, Mora Iannelli, L. y Gil, S. (2015) Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.12 (1), 212-226.

Di Laccio, J. (2009). Taller: Enseñando Física Moderna. *XIX Encuentro Nacional de Profesores de Física*. Maldonado, Uruguay.

Di Laccio, J. (2008). Curso: Innovando en metodologías de enseñanza en Física moderna con aspectos vinculados a la Química, para la educación Secundaria” A.N.E.P-Ce.R.P del Litoral. Salto, Uruguay.

Referencias

- Almeida Cavalcante, M., Rodrigues Caetano Tavoraro, C., Haag, R. (2001). Experiencias em Física Moderna. *Física na Escola*, 6(1), 75-82.
- Alonso Tapia, J. (1991): *Motivación y aprendizaje en el aula. Cómo enseñar a pensar*. Santillana. Madrid. ISBN: 84-294-3334-1
- Alonso Tapia, J. (1997). *Motivar para el aprendizaje. Teoría y Estrategias*. Ed. EDEBÉ España. Recuperado de: http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/TA_Tapia_Unidad_4.pdf
- Alonso Tapia, J. (2005). *Motivación para el aprendizaje: la perspectiva de los alumnos*. Publicado en: Ministerio de Educación y Ciencia (2005). La orientación escolar en centros educativos. (págs. 209-242). Madrid: MEC. Recuperado de: <http://cmappublic3.ihmc.us/rid=1NRS79H37-6XKDFC-22R/aprender%20aprender.pdf>
- Ambrosio A. (2016) Smartphone: un laboratorio in tasca, non solo in classe. *DIDATTICA DELLE COMPETENZE CON LE TIC*, nº 2, 8-14.
- Arons, A. (1973). Toward Wider Public Understanding of Science. *American Journal of Physics*, 769-782.
- Arons, A.B., (1990). *Guide to Introductory Physics Teaching*. New York: Wiley. ISBN 90-471-51341-5
- Asim, F. (2015). Androsensor. Recuperado de: <http://www.fivasim.com/androsensor.html>
- Brown, D. (2017). *Tracker. Analysis and Modeling Tool*. Recuperado de: <https://physlets.org/tracker/>
- Calderón, S. y Gil, S. (2007). Determinación de la fuerza de roce con el aire usando nuevas tecnologías. *Revista de Enseñanza de la Física de la Asociación de Prof. de Física de Argentina.*, 20 (1) 55-64
- Calderón, S., Núñez, P. y Gil, S. (2009b). La cámara digital como instrumento de laboratorio: estudio del tiro oblicuo. *American Journal of Physics Education*. 3 (1) 87-92
- Calderón, S., Núñez, P. y Gil S. (2009a). Estudio cinemático del movimiento de cuerpos que ruedan por un plano inclinado. *American Journal of Physics Education*. 3 (1) 68-71

- Calderón, S., Núñez, P. y Gil S. (2010). Experimentos en el aula utilizando la tarjeta de sonido de una PC. *American Journal of Physics Education*. 4 (1) 188-193.
- Calderón, S., Núñez, P., Di Laccio, J.L., Mora Iannelli, L. y Gil, S. (2015) Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.12 (1), 212-226.
- Camilloni, A. (1997). De Herencias, deudas y legados. Una introducción a las corrientes actuales de la didáctica. En Camilloni, A., Davini, C., Edelstein, G., Litwin, E, Souto, M. y Barco, S. (1997). *Corrientes didáctica contemporáneas*. Buenos Aires. Barcelona. México: Paidós
- CFE: Programa de física moderna (2008) Recuperado de: http://cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/planes_programas/profesorado/plan_2008/fisica/cuarto/fisica_moderna.pdf
- Chakarvarti S. K. (1981) The Doppler Effect: A simple analogy and demonstration. *The Physics Teacher* 19, 320.
- Chevallard, I. (1997) La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: AIQUE.
- Coll, C. (2009) Aprender y enseñar con las TIC: expectativas, realidad y potencialidades. En Carneiro, R.; Toscano, J.C.; Díaz, T., *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo* (pp. 113-125). Madrid, España: Fundación Santillana
- Consejo de Educación Secundaria. (2016). *Propuesta educativa: Bachillerato Plan reformulación 2006*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de <http://www.ces.edu.uy/index.php/propuesta-educativa/20103>
- Countryman, C.L. (2014) Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors. *The Physics Teacher*, nº 52, 557-559.
- De Prada Pérez de Azpeitia, F. I. (2016). La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 617–627.
- Di Laccio, J. (2007).Taller de discusión y resolución de problemas de relatividad Especial orientados a la Enseñanza Secundaria”. Duración 50 h. ANEP-Ce.R.P del Litoral.
- Di Laccio, J. (2008). Curso: Innovando en metodologías de enseñanza en Física moderna con aspectos vinculados a la Química, para la educación Secundaria” A.N.E.P- Ce.R.P del Litoral.Salto, Uruguay.

- Di Laccio, J. (2009). Enseñando Física Moderna. *XIX Encuentro Nacional de Profesores de Física*. Maldonado, Uruguay.
- Di Laccio, J. (2015) Inclusión de votadores en contexto de masividad. *UdelaR Salto de Muestra*. Salto, Uruguay.
- Di Laccio, J. L., Ferrón, M., Gil, S., y Alonso-Suárez, R. (2017). Efecto Doppler: ¿Cómo tenemos evidencia de su existencia? Recuperado de: <http://www.noveduc.com/l/revistanovedades-educativas-316-abril-2017/1799/03283534>
- Di Laccio, J. y Gil, S. (2016). *Sociedad Uruguaya de Física: Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de XV Reunión "Enrique Loedel Palumbo": <https://drive.google.com/file/d/0B0kKsJdIVNSeczB6VTh5TWFUMWs/view>
- Di Laccio, J. y Vitale, G. (2016). Experimentos para la enseñanza de la Física Moderna en secundaria: ¿Qué edad tiene el Universo?. *I Congreso Internacional de las Ciencias Básicas*. Buenos Aires, Argentina: Recuperado de : http://www.edutecne.utn.edu.ar/cieciba_2016/cieciba.html
- Di Laccio, J., Vitale, G., Alonso-Suárez, R., Pérez, N. y Gil S. (2017). Estudio del Efecto Doppler usando Smartphones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.14* (3), 637-646. Recuperado de: <http://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3588/0>
- Di Laccio, J., Narbondo, S. Zorrilla, M. y Pérez, C. (2017). *Nuevo enfoque de enseñanza: Curso de Física 1 del CENUR LN*. Jornadas de Investigación en Educación Superior, Montevideo, Uruguay. Trabajo que obtuvo la distinción de segundo mejor contenido. Recuperado de: <https://eventos.cse.udelar.edu.uy/indico/event/0/session/12/contribution/168>
- Di Laccio, J.L., Rodríguez A. y Gil, S. (2017). *Constructos de la motivación: Física en el bar*. Libro del II Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias Básicas (p. 346-350). Salto, Uruguay.
- Eisberg, R. M. (1974). *Fundamentos de física moderna*. México: Limusa.
- Facultad de Ingeniería. (2015). *Open FING: Introducción a la Física Moderna*. Recuperado de: <http://open.fing.edu.uy/fm/clases>
- FCIEN: Programa de Física Moderna (s.f). Recuperado de: [http://www.fcien.edu.uy/files/programas/fisica_moderna\(fi\)\(fa\)\(fm\)\(ca\).pdf](http://www.fcien.edu.uy/files/programas/fisica_moderna(fi)(fa)(fm)(ca).pdf)

- Fernández, L. (1994) *La Institución Educativa*. Buenos aires. Paidós.
- FING: Programa de física moderna (2012). Recuperado de: https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/cursos/2011/anexos/2523/324_0.pdf
- FLIR Systems, I. (2017). *FLIR*. Recuperado de: <http://www.flir.com/flirone/>
- Forringer, T. (2014). A Guided Inquiry on Hubble Plots and the Big Bang. *The Physics Teacher*, 199-201.
- French A. P. (1991). *Relatividad Especial*. España: Ed. Reverté.
- French, A.P, Taylor, E.F. (1982). *Introducción a la Física Cuántica*. España: Reverté.
- Garcia-Molina, R. (2013). Cinco experiencias sencillas de física moderna. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 30-35.
- Garrao, R. Buzzo. (2007) Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física. *American Journal Physics Education*, 1 (1). 19-23.
- Gibbs K. (2013) *Schoolphysics*. The Doppler Effect. Figura 23.
- Gil Pérez, D., Senent, F., Solbes, Jordi (1986), Análisis crítico de la introducción de la Física Moderna en la enseñanza media. *Revista de la enseñanza de la física*, vol. 1, núm. 1, pp. 16-21.
- Gil, S. (2003). *Física re-creativa-Introducción a la Cosmología*, UdeSA y UNSAM . Recuperado de: http://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/publ_sg.htm
- Gil, S. (2006a). Enseñanza de las ciencias, desafíos y oportunidades. *Jornada Pedagógicas UNSAM*, (pág. 11). Bs. As.
- Gil, S. (2006b). *Enseñanza de las ciencias, aprendizaje por inmersión*. Memorias de las Jornadas Pedagógicas UNSAM. Buenos Aires, Argentina.
- Gil, S. (2014). *Experimentos de Física usando TIC y elementos de bajo costo*. Buenos aires: Alfaomega.
- Gil, S. y Di Laccio J. L. (2017). Smartphone una herramienta de laboratorio y aprendizaje: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias. *American Journal of Physics Education*, 1305 (1-9). Recuperado de: http://www.lajpe.org/mar17/1305_Salvador_2017.pdf
- Gil, S., Reisin. H.D., y Rodríguez E. (2006) Using a digital camera as a measuring device. *American Journal of Physics Education*. 74(9), 768-775.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*. 66(64), 64-74. doi: 10.1119/1.18809

- Hake, R. (2015). Arnold Arons: Pioneer of Inquiry-Based Learning in Physics. En J. M. Patrick Blessinger, *Inquiry-Based Learning for Science, Technology, Engineering, and Math (Stem) Programs: A Conceptual and Practical Resource for Educators (Innovations in Higher Education Teaching and Learning)* (Vol. 4, págs. 59-72). Emerald Group Publishing Limited.
- Hernández Sampieri, R. Fernández, C. y Baptista, P. (2010) *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill
- Hernández, C., Silveira, B., Di Laccio, A., Di Laccio, F. y Di Laccio J. (2017). La cámara termográfica para la enseñanza de las ciencias. *Centro de tecnología educativa. Tecno-feria departamental*. Salto, Uruguay.
- Jesper Haglund, Jeppsson Fredrik, David Hedberg, Konrad J. Schönborn. (2015). Thermal cameras in school laboratory activities. *Physics Education*, 1-10.
- Kuhn J., Vogt P. (2013). Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones in Physics Lessons. *Frontiers in Sensors*, 67-73.
- Larrosa, J. (2007). Acerca de la Experiencia. *Encuentro Nacional: Formar en Futuro Presente. Programas Aprender Enseñando y Elegir la Docencia*. Mar del Plata. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=J89esh7uRws>
- Leike, A. (2002). Demonstration of the exponential decay law using beer froth. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS*, 21-26.
- Litwin, E. (1997) *Las configuraciones didáctica. Una nueva agenda para la enseñanza superior*. Buenos Aires: Paidós.
- MacIsaac, D.(2007). Websites for Teaching High School and Introductory College Modern Physics Topics: Teaching about the Bohr Atom: The Physics Teacher 45 (124). doi:10.1119/1.2432097
- Martínez-Olvera, W., Esquivel-Gámez, I. y Castillo, J. (2014). Aula Invertida o Modelo Invertido de Aprendizaje: origen, sustento e implicaciones. 143-160. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/273765424_Aula_Invertida_o_Modelo_Invertido_de_Aprendizaje_origen_sustento_e_implicaciones
- Mateu, M. (2010). Conectividad Ceibal para la Educación Media en el Uruguay. Recuperado de: <http://rea.ceibal.edu.uy/UserFiles//P0001/Image/contenidos/pdfs/inspectores%20media/Conectividad.pdf>

- Mazur (1997), *Peer Instruction: A User's Manual*, Prentice Hall, Upper Saddle River
- McDermott L.C., Wilson K.G., Jossem E.L. (2001). Arnold Boris Arons. *Physics Today*, 76.
- McDermott, L. (2013). Improving the teaching of science through discipline-based education research: An example from physics. *European Journal of Science and Mathematics Education. I* (1), 1-12.
- Moreira, M. A. (2010). Abandono de la narrativa, enseñanza centrada en el alumno y aprender a aprender críticamente. *Conferencia pronunciada en el II Encuentro Nacional de Enseñanza de Ciencias de la Salud y del Ambiente y en el VI Encuentro Internacional y III Encuentro Nacional de Aprendizaje Significativo*, São Paulo, Brasil. Recuperado de: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Abandonoesp.pdf>
- Morín, E. (2001). EL MÉTODO. La naturaleza de la naturaleza (Ana Sánchez y Dora Sánchez García, trad.). Madrid. Cátedra. (Obra original publicada en 1977)
- Novak J.D. y Gowin D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca S.A.
- Núñez, P., Calderón, S., y Gil S. (2009a). Midiendo velocidades supersónicas utilizando Youtube. *American Journal of Physics Education*. 3 (1) 114-116.
- Núñez, P., Calderón, S., y Gil S. (2009b). Mediciones astronómicas desde el aula. *American Journal of Physics Education*. 3 (1) 87-92
- Núñez, P., Calderón, S., y Gil S. (2009c). Búsqueda de orden y armonía en la naturaleza, descubriendo leyes de escala en el aula. *American Journal of Physics Education*. 4 (1) 118-125
- NVivo: Software para análisis de datos cualitativos. (2017).
- O'brien Pride, T., Vokos, S., McDermott, L. (1998). The challenge of matching learning assessments to teaching goals: An example from the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*. 66, 147-157. doi:10.1119/1.18836.
- Ostermann F. y Moreira M.A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 391-404.
- Phone Labs. phonelabs.net. Sensibility Pty Ltd. 2016. <http://www.phonelabs.net/> (último acceso: 1 de 5 de 2016).

Pinilla, E.C., Ramírez, O.L., Fajardo, F. (2003). Estudio experimental del decaimiento radiactivo usando analogías clásicas . *Revista de Física*, 41-60.

Programa de Física II (2008). Recuperado de: http://www.cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/planes_programas/profesorado/plan_2008/quimica/segundo/fisica2.pdf

Programa de Química General II (2008). Recuperado de: http://www.cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/planes_programas/profesorado/plan_2008/quimica/segundo/quim_genera_II_modif.pdf

Resnick, R, Halliday, D, y Kenneth, S. (2007). Física cuarta edición en español volumen 2. México: Patria

Rodrigo, M.J., Rodríguez, A. y Marrero, J. (1993). *Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano*. Madrid: Visor

Rodríguez, A. y Di Laccio (2017). *Constructos de la motivación: Experimentos demostrativos en Física 1 que incluyen el Smartphone como herramienta de medición y aprendizaje*. Jornadas de Investigación en Educación Superior, Montevideo, Uruguay. Recuperado de: <https://eventos.cse.udelar.edu.uy/indico/event/0/session/35/contribution/169>

Sandín Esteban, M. P. (2003). Investigación cualitativa en educación: Fundamentos y tradiciones. Madrid: McGraw Hill; Interamericana de España.

Scott, C. L., (2015). El futuro del aprendizaje 2 ¿Qué tipo de aprendizaje se necesita en el siglo XXI? Investigación y prospectiva en educación. Documentos de trabajo. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002429/242996s.pdf>

Seidman, I. (2006). Interviewing as qualitative research: A guide for researchers in education and the social sciences (3era Ed.). New York: Teachers College Press

Software Shop - Cualitativo. (2013). YouTube: Análisis de información textual con NVivo 10. Recuperado el 2017, de <http://www.qsrinternational.com/nvivo-spanish>

Tolosa, H. A. (2017). Entrevista. *Noticiero Subrayado*. Recuperado de: <http://www.subrayado.com.uy/noticias/68982/uruguay-conectado-75-de-los-hogares-tiene-internet>

Torales, A., Di Laccio, J.L. (2017). *¿Puede la Física dar respuestas a la complejidad?: el enfoque de preguntas que requieren de experimentación*. Libro del II

- Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias Básicas (p. 115-121). Salto, Uruguay
- Vicario J.E y Venier F.L. (2010). La enseñanza de la física moderna, en debate en latinoamérica. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 49-57.
- Viñar, M. (2012). Adolescencias y el mundo actual. *Coloquio sobre la Función del Psicólogo en el tercer milenio*. Córdoba. Recuperado de: <http://www.apuruguay.org/sites/default/files/M.Vi%C3%B1ar.%20Adolescencias%20y%20el%20Mundo%20Actual.pdf>
- Vygotski, L. (2001). *Psicología Pedagógica*. Buenos Aires: AIQUE.
- W5big (2004). Spectrogram. Recuperado de: <http://w5big.com/spectrogram.htm>
- Wieman C. , Perkins K. (2005). Transforming Physics Education. *Physics Today*.
- Wieman, C. (2014). Large-scale comparison of science teaching methods sends clear message. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111(23), 8319-8320. doi: 10.1073/pnas.1407304111
- Xie, C. (2012). Transforming Science Education with IR Imaging. *InfraMation 2012 Proceedings*, 1-9.
- Young, H., Freedman, R. (2009). *Física Universitaria con Física Moderna*, vol 2. México: Pearson Educación.

Anexos

Anexo 1: Encuesta informantes claves

Estimado docente/investigador:

Soy estudiante de maestría en Educación de la Química y estoy recabando información para mi tesis que trata de la enseñanza de la física moderna en secundaria. Le solicito unos minutos de su tiempo para que responda algunas preguntas.

Desde ya muchas gracias por su ayuda. (Les agradezco el envío de este archivo completo a jdilaccio@unorte.edu.uy)

Datos generales	
Nombre:	
Lugar de trabajo:	
Cargo, grado académico:	
Formación, títulos:	
Dedicación horaria:	

Preguntas

Nota: Considere que ya conozco el programa del curso de Física Moderna de su institución.

- ¿Ha dictado o dicta el curso de Física Moderna de nivel terciario?
 Marque en la opción que corresponda con una "X".
 Sí, en: Fac. Ciencias Fac. Ingeniería Formación Docente
 No:
- ¿Por qué motivos es importante un curso de Física Moderna en la formación que brinda su institución? Brinde como máximo tres motivos.
- ¿Qué contenidos considera que son los esenciales del curso? Nombre los 5 que considere más relevantes.
- ¿Qué estrategias de enseñanza ha utilizado o utiliza en sus clases? (Trabajos en equipo, resolución de ejercicios, clases teóricas, actividades interdisciplinarias, experimentos, demostrativas, otros).

En su opinión de experto.

- ¿Deberían enseñarse algunos conceptos de la física Moderna en la enseñanza secundaria? Marque una opción con una "X".
 - Totalmente de acuerdo
 - De acuerdo
 - Parcialmente de acuerdo
 - En desacuerdo
 - Totalmente en desacuerdo
- ¿Deberían enseñarse principalmente en bachillerato? Marque una opción con una "X".
 - Totalmente de acuerdo X
 - De acuerdo
 - Parcialmente de acuerdo
 - En desacuerdo

v. Totalmente en desacuerdo

3. ¿Qué contenidos de los listados más abajo y que hoy están propuestos en los programas de física y química considera esenciales? Marque los 5 que a su criterio sean fundamentales para la formación en ciencias de los alumnos con una “X”

1. Espectro electromagnético
2. Difracción en una rendija, experimento de Young, red de difracción
3. Radiación de cuerpo negro
4. Efecto fotoeléctrico.
5. Efecto Compton.
6. Espectro de emisión.
7. Átomo de Bohr.
8. Ondas de De Broglie y Difracción de electrones.
9. Principio de incertidumbre.
10. Radiactividad natural e inducida
11. Desintegraciones nucleares.
12. Ecuaciones de desintegración
13. Postulados de la relatividad especial
14. Simultaneidad
15. Dilatación del tiempo y contracción de las longitudes

4. Lea la siguiente afirmación y manifieste su acuerdo o desacuerdo con la misma, usando una cruz “X”

“Para introducir de forma significativa la Física Moderna en la escuela secundaria debemos flexibilizar los contenidos que hoy proponen los programas de forma que se puedan enseñar tópicos esenciales de la misma interrelacionados de forma accesible al alumno. En la enseñanza deben incluirse experimentos simples que no necesiten un bagaje teórico excesivo y alienten el seguir aprendiendo. Es fundamental incluir en la enseñanza experimentos cruciales que llevaron a un cambio de paradigma, a modo de ejemplo: radiación de cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, Michelson y Morley, descubrimiento del decaimiento beta, etc.”

1. Totalmente de acuerdo
2. De acuerdo
3. Parcialmente de acuerdo
4. En desacuerdo
5. Totalmente en desacuerdo

5. ¿Qué contenidos de Física Moderna considera podrían abordarse necesariamente desde un curso de química del secundario? Brinde al menos dos ejemplos.

Anexo 2: Propuesta de intervención

Evaluación de aprendizajes

Grupal: 3 estudiantes

- 1) Hoja de cálculo del experimento (Durante el experimento la elaboran y entregan al terminar)
- 2) Responder: (Lo hacen como tarea en la casa)
 - a) ¿De qué trata el experimento?
 - b) ¿Cómo es el dispositivo usado?
 - c) ¿De qué manera mide las magnitudes de interés de su experimento?
 - d) ¿Cuál/es son los resultados de su experimento?
 - e) ¿Qué aprendieron del experimento?
- d) Observe su gráfico $I = f(1/x^2)$, ¿qué iluminación tendrá para 24.0 cm? ¿Cómo lo sabe?

Individual (Lo hacen en clase)

- a) De forma general, ¿qué entiendes por onda electromagnética?
- b) ¿Qué es el espectro electromagnético?
- c) Explica en tus palabras que entiendes por la ley de la inversa del cuadrado para la luz.
- d) ¿Cuándo te encuentras a 1m de una fuente que puede considerarse puntual la intensidad que mides es, si ahora das un paso de un metro más alejándote de la fuente, ¿cuánto vale ahora la intensidad en términos de la anterior?

(Lo hacen en clase luego de corregido lo anterior)

La siguiente tabla ofrece algunos datos de iluminancia, proporcionada por una fuente que puede modelarse como puntual, y las distancias entre el sensor de luz y la fuente. ¿Cumplen estos datos la ley de la inversa del cuadrado?

x(cm)	I(lux)
10	3620.3
15	1609
20	905.1
25	579.2
30	402.3
35	295.5
40	226.3
45	178.8

Evaluación de aprendizajes

Grupal: 3 estudiantes

- 1) Hoja de cálculo del experimento (Durante el experimento la elaboran y entregan al terminar)
- 2) Responder: (Lo hacen como tarea en la casa)
 - a) ¿De qué trata el experimento?
 - b) ¿Cómo es el dispositivo usado?
 - c) ¿De qué manera mide las magnitudes de interés de su experimento?
 - d) ¿Cuál/es son los resultados de su experimento?
 - e) ¿Qué aprendieron del experimento?
 - f) Seleccione una fotografía de su experimento y mediante el uso de la gráfica de altura en función del tiempo obtenida realice la predicción de cuánto tiempo hace que la espuma está decayendo. ¿Cómo lo sabe?

Individual (Lo hacen en clase)

- a) ¿Cuál es la principal característica del decaimiento radiactivo?
- b) Explica de la ecuación que significa cada una de los símbolos. ($N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$)
- c) ¿Qué es la actividad?

d) ¿Qué es la vida media de una muestra radiactiva?

Lo hacen en clase luego de corregido lo anterior.

e) La siguiente tabla ofrece algunos datos de una muestra radiactiva de, un radionúclido usado a menudo en medicina como trazador para medir la rapidez de asimilación de yodo en la glándula tiroidea. De estos datos determine:

a) La constante λ de desintegración

b) La vida media

Tiempo(min)	R(cuentas/s)	Tiempo(min)	R(cuentas/s)
4	392.2	132	10.9
36	161.4	164	4.56
68	65.5	196	1.86
100	26.8	218	1.00

Preguntas

Docente de física

1. Describa la experiencia de haber trabajado con la propuesta ley de la inversa del cuadrado.
2. ¿Cómo valora esta experiencia respecto de la enseñanza tradicional? (Charlas previas a las clases que tuvimos sobre cómo llevarlas adelante, implementación, motivación de los alumnos, forma de evaluación, etc.
3. ¿De qué forma puede beneficiarse el alumno luego de pasar por esta experiencia?

Docente de química

1. Describa la experiencia de haber trabajado con la propuesta decaimiento de la espuma de la cerveza.
2. ¿Cómo valora esta experiencia respecto de la enseñanza tradicional? (Charlas previas a las clases que tuvimos sobre cómo llevarlas adelante, implementación, motivación de los alumnos, forma de evaluación, etc.
3. ¿De qué forma puede beneficiarse el alumno luego de pasar por esta experiencia?

Anexo 3: Libros de texto

En las tablas siguientes rescatan los temas, las páginas destinadas a ellos y un indicador de preguntas y ejercicios de final de capítulo.

Serway, Moses, y Moyer (2006) en el texto Física Moderna presenta 15 capítulos:

Temas	Nº de Páginas	Preguntas y Ejercicios
Relatividad I	1-41	Si (12p y 40e)
Relatividad II	42-65	Si (10p y 33e)
Teoría cuántica de la luz	66-106	Si (15p y 48e)
Naturaleza corpuscular de la luz	107-150	Si(11p y 44e)

Ondas de materia	151-191	Si (11p y 37e)
Mecánica cuántica en una dimensión	192-231	Si (8p y 38e)
Fenómeno de tunelaje	232-259	Si (6p y 20e)
Mecánica cuántica en tres dimensiones	260-294	Si (6p y 34e)
Estructura atómica	295-333	Si (14p y 26e)
Física estadística	334-371	Si (2p y 26e)
Estructura molecular	372-403	Si (-- y 19e)
El estado sólido	404-461	Si (22p y 25e)
Estructura nuclear	462-502	Si (-- y 61)
Aplicaciones de física nuclear	503-546	Si (-- y 55e)
Partículas elementales	547-597	Si (18p y 37e)
Cosmología	En la red	-----

French, Taylor (1982), presenta en su obra *Introducción a la física cuántica* un total de 14 capítulos.

Temas	Nº de Páginas	Preguntas y Ejercicios
Modelos atómicos simples	1-42	Si 26e
Propiedades ondulatorias de las partículas	51-90	Si 16e
Dualidad onda-partícula y estados ligados	99-135	Si 18e
Soluciones a la ecuación de Schrödinger en una dimensión	145-171	Si 15e
Otras aplicaciones de la ecuación de Schrödinger	179-204	Si 14e
Fotones y estados cuánticos	213-248	Si 11e
Amplitudes cuánticas y vectores de estado	257-281	Si 12e
Los estados cuánticos y su dependencia del tiempo	289-324	Si 23e
Difusión de partículas y penetración a través de la barrera de potencial	335-379	Si 25e
Momento angular	389-424	Si 17e
Momento angular de los sistemas atómicos	433-465	Si 17e
Estados cuánticos en sistemas tridimensionales	473-502	Si 22e
Partículas idénticas y estructura atómica	509-546	Si 16e
Radiación emitida por los átomos	553-583	Si 12e

French (1988) en el libro *Relatividad Especial* presenta 8 capítulos dedicados al tema.

Temas	Nº de Páginas	Preguntas y Ejercicios
Desviaciones de la dinámica newtoniana	3-32	Si 26e
Perplejidad ante la propagación de la luz	41-65	Si 8e
Einstein y las transformaciones de Lorentz-Einstein	71-95	Si 9e
La relatividad y la medición de longitudes e intervalos de tiempo	101-137	Si 19e
Cinemática relativista	143-182	Si 22e
Dinámica relativista. Choques y leyes de conservación.	191-229	Si 20e
Más acerca de la dinámica relativista.	237-260	Si 10e
Relatividad y electricidad	265-308	Si 11e

Anexo 4: Unidades del Química General II de profesorado de Química

Unidad	Contenidos	Tiempos sugeridos
Teorías sobre la formación de la materia	<p>Teoría del Big Bang Teoría de Hoyle. MODELO ESTÁNDAR Partículas fundamentales, características, laboratorios donde se investiga (laboratorios actuales del siglo XXI): FERMILAB y CERN.6 Temas de frontera que se relacionan con estos tópicos. Los elementos químicos en el Universo.</p> <p>La composición de los planetas del sistema solar.</p>	1 semana aprox. 6 horas de clase
Teorías y modelos atómicos	<p>2.1 Antecedentes históricos. Núcleo atómico. Estructura perinuclear. Modelo cuántico del átomo. Modelo ondulatorio</p> <p>2.1 Antecedentes históricos. Laboratorios del siglo XIX y XX</p> <p>2.2. Núcleo atómico.</p> <p>2.2.2. Conversión masa - energía. Energía nuclear de enlace.</p> <p>2.2.3. Modelos nucleares.</p> <p>2.2.4. Radiactividad natural.</p> <p>2.2.5. Estabilidad.</p> <p>2.2.6. Tipos de desintegración. Espectros de energía de las emisiones alfa, beta y gama. Leyes. Series.</p> <p>2.2.7. Radiactividad artificial.</p> <p>2.2.8. Reacciones nucleares. Desintegración, Bombardeo. Fusión. Fisión. Cinética de las reacciones nucleares.</p> <p>2.2.9. Aplicaciones de los isótopos radioactivos.</p> <p>2.3. Estructura perinuclear.</p> <p>2.3.1. Modelo cuántico del átomo.</p> <p>2.3.1.1. Espectroscopía. Intercambios de energía entre la materia y la radiación.</p> <p>2.3.1.2. Teoría del color, Microondas, Radio, Televisión, Rayos X.</p> <p>2.3.1.3. Espectro atómico</p>	14 semanas aprox. Deberá finalizarse antes de las vacaciones de julio.

	<p>2.3.1.4. Planck y Einstein Cuerpo negro y Efecto Fotoeléctrico</p> <p>2.3.1.5. La teoría de los cuantos y el modelo de Bohr.</p> <p>2.3.1.6. Los números cuánticos.</p> <p>2.3.2. El modelo ondulatorio del átomo.</p> <p>2.3.2.1. El principio de incertidumbre.</p> <p>2.3.2.2. Dualidad onda partícula. De Broglie.</p> <p>2.3.2.3. La función de onda.</p> <p>2.3.2.4. Orbital atómico. Sistemas hidrogenoides Feynman, Encuentro de Copenhague Dirac, Born y Bohr.</p> <p>2.3.2.5. Sistemas no hidrogenoides.</p>	
La clasificación periódica de los elementos	<p>Origen de la clasificación periódica de los elementos.</p> <p>Clasificación periódica y configuración electrónica. Las informaciones que nos da la tabla periódica.</p> <p>La noción de: radio atómico, radio de Van Der Waals, radio covalente, radio iónico. La longitud de los enlaces, variación de radio atómico con el número atómico. Carga nuclear</p>	1 semana aprox. 6 horas de clase
El enlace químico.	<p>4.1 Métodos sencillos de representación del enlace covalente:</p> <p>4.1.1 Modelo de Lewis.</p> <p>4.1.2 Método de repulsión de los pares de electrones de la “capa” de valencia. (RPECV).</p> <p>4.2 Teoría del enlace de valencia o de unión de valencia.</p> <p>4.3 Teoría del orbital molecular.</p> <p>4.1.1 Modelo de Lewis</p> <p>Los dos esquemas fundamentales la covalencia propiamente dicha y la coordinación. La eventualidad de una ruptura Electrones ligantes y no ligantes.</p> <p>Enlaces múltiples.</p> <p>Búsqueda y representación de la</p>	10 semanas aprox. Deberá finalizarse a fines de setiembre.

	<p>estructura de los edificios covalentes.</p> <p>Polarización de los enlaces. Modelo iónico.</p> <p>Electrones no localizados mesomería.</p> <p>La noción de valencia.</p> <p>Los límites y las insuficiencias del modelo de Lewis.</p> <p>Método de repulsión de los pares de electrones de la “capa” de valencia.</p> <p>(RPECV). Geometría molecular (Cómo se mide en coordinación con Estructura nuclear y periférica)</p> <p>Teoría del enlace de valencia o de unión de valencia.</p> <p>Interpenetración de los orbitales atómicos. Heitler – London 1927</p> <p>Los enlaces múltiples.</p> <p>Enlace sigma y enlace pi.</p> <p>Teoría de la hibridación.</p> <p>Teoría del orbital molecular.</p> <p>Noción de orbital molecular. La investigación de la función de onda molecular.</p> <p>La molécula de di hidrógeno. Orbital molecular enlazante y antienlazante.</p> <p>Sistemas conjugados.</p>	
Propiedades eléctricas y magnéticas de las Moléculas.	<p>5.1. Momento eléctrico molecular.-</p> <p>5.1.1.- Moléculas diatómicas y moléculas poliatómicas. Consecuencias</p> <p>5.1.2.- Polaridad de las moléculas y propiedades de las sustancias.-</p> <p>5.1.3.- Momento permanente y momento inducido.</p> <p>5.1.4.- Polarizabilidad.</p> <p>5.2.-Magnetismo molecular.</p>	1 semana. 4 horas de clase aprox
Interacciones de débil energía	-----	1 semana. 6 horas de clase aprox
Estado sólido	<p>7.1. Constitución de los sólidos. Propiedades características de los sólidos.</p> <p>La constitución de los sólidos cristalinos.</p>	Temporalidad 2 semanas aprox.

	<p>Sólidos moleculares. Sólidos atómicos o covalentes. Sólidos iónicos. Sólidos metálicos. Cristales líquidos. 7.2. La teoría de las bandas. La interpretación de la conductividad. Sólidos aislantes. Sólidos semi conductores Sólidos conductores.</p>	
--	--	--