



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE CIENCIAS

FÍSICA

LA DIVULGACIÓN DE LOS ÚLTIMOS AVANCES DE LA FÍSICA COMO UNA
ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA SU ENSEÑANZA EN EL NIVEL MEDIO SUPERIOR

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN DOCENCIA

PRESENTA:
EDGARD SÁNCHEZ GONZÁLEZ

TUTORA: DRA. MARÍA DEL PILAR SEGARRA ALBERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. ERNESTO AGUILAR RODRÍGUEZ. ENES MORELIA, UNAM
DRA. YESENIA ARREDONDO LEÓN. ENES MORELIA, UNAM
DRA. LETICIA GALLEGOS CÁZARES. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM
MTRO. DAVID LEÓN SALINAS. FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A la UNAM, y en especial a la Facultad de Ciencias
Por haberme dado la oportunidad de formar parte de MADEMS

A la Dra. María del Pilar Segarra Alberú
Por su tiempo y dedicación en la dirección de esta tesis

A todos los miembros del Comité Tutor
Por su lectura y diversas contribuciones a este trabajo

A mi familia y amigos
Por su apoyo incondicional y permanente

Índice

Introducción	7
Objetivos del trabajo	9
Objetivos de aprendizaje	9
Método	9
Marco conceptual	11
A- La motivación a través de la divulgación	11
La motivación como factor fundamental para el aprendizaje de la Física	11
El papel de la divulgación de la ciencia como una forma de enseñanza de la física	12
La divulgación científica como estrategia de enseñanza de la física	14
B- Las teorías psicológicas del aprendizaje a considerar en la divulgación	16
El conflicto cognitivo de Piaget como punto de inicio	16
El razonamiento y la solución de problemas en física desde la teoría de Piaget	17
El esquema de trabajo de aprendizaje colaborativo y de autogestión del conocimiento	20
C- Modelos educativos del sistema de bachillerato de la UNAM considerados en la secuencia didáctica	21
La importancia del concepto de secuencia didáctica	21
La aplicación de la taxonomía dentro de las secuencias didácticas	22
Los diferentes modelos educativos y las secuencias didácticas	23
Implementación de la estrategia	24
Planes de estudio del sistema de bachillerato de la UNAM	24
Caracterización de la población y datos de identificación de los planteles	25
Objetivos de la propuesta	27
Taxonomía	28
Secuencia didáctica	30
Sesión 1: Presentación y Evaluación inicial	31
Sesión 2: Aprendiendo más acerca de los agujeros negros	33
Sesión 3: Las ondas gravitacionales y la imagen de un agujero negro	36
Sesión 4: Estructura de la Tierra y su relación con los terremotos y las erupciones volcánicas	38
Sesión 5: Ondas mecánicas y electromagnéticas. Evaluación final	41

Resultados de las implementaciones y análisis	43
Resultados y comentarios respecto a preguntas de la evaluación diagnóstica	43
1. ¿Sabes lo que es un agujero negro? Proporciona una breve explicación	44
2. Si en este momento estuviera en el espacio sin traje espacial ni nave, ¿Qué piensas que le sucedería a tu cuerpo y por qué?	44
3. Factorización ecuación de segundo grado	45
4. Solución de un sistema de ecuaciones simultáneas de 2x2	45
Resultados y comentarios respecto a preguntas de la evaluación formativa	46
1. ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?	46
2. Elabora un cuadro sinóptico acerca del tema Agujeros Negros	47
3. ¿Cómo es que se pueden llegar a escuchar las ondas gravitacionales?	47
4. En tus propias palabras, ¿Qué es el color?	48
5. Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera 300 000 km/s	48
6. Elabora un cuadro comparativo entre las ondas mecánicas y electromagnéticas	49
7. Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de un cuanto de radiación electromagnética y estima la temperatura con la expresión de Wien	49
8. Justifica si el magma emite o no radiación electromagnética	50
9. Ejecuta la simulación "Color Visión" y explica por qué si se proyecta luz blanca sobre el filtro rojo la persona percibe la luz de color rojo	51
Comentario general	52
Reflexión final	54
Referencias	55

Anexos	58
Anexo 1: Rúbricas de evaluación	59
Cuadro sinóptico	59
Cuadro comparativo	60
Preguntas conceptuales	61
Ejercicios numéricos	62
Anexo 2: Evaluación diagnóstica	63
Anexo 3: Lectura.	64
Alcubierre, M. (2002, Julio). Los agujeros negros. ¿Cómo ves?, 44, 10-17	
Anexo 4: Presentación	72
Agujeros negros	
Anexo 5: Ejercicio numérico	76
Anexo 6: Primera imagen de un agujero negro	77
Anexo 7: Lectura	78
De Régules, S. (2017, Diciembre). Astronomía de mensajeros. ¿Cómo ves?, 229, 8-13	
Anexo 8: Lectura	84
Drake, N. (2017, Noviembre). Te explicamos qué son las ondas gravitacionales, cuya detección ha sido galardonada con el Nobel de Física de 2017. Diciembre 06, 2021, de National Geographic.	
Anexo 9: Lectura	88
De Régules, S. (2017, Abril). Retrato de un hoyo negro. ¿Cómo ves?, 221, 8-13	
Anexo 10: Lectura	94
Abramson, G. (2019). El corazón de las tinieblas, primera observación directa de un agujero negro. Desde la Patagonia, difundiendo saberes, 16, 40-42	
Anexo 11: Presentación	97
Ondas gravitacionales e imagen de un agujero negro	
Anexo 12: Cuestionario	102
Anexo 13: Resumen de traducción de video	104
Demostración ondas S y P	
Anexo 14: Lectura	104
Espíndola, V. H. & Pérez, X. (2018, Julio-Septiembre). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden? Ciencia, 69, 8-15	

Anexo 15: Lectura Marcial, U. (1996, Enero-Marzo). Popocatépetl. Vivir en riesgo. Ciencias, 41, 50-55	112
Anexo 16: Presentación Ondas mecánicas y electromagnéticas	118
Anexo 17: Ejercicio numérico y simulación computacional	124
Anexo 18: Evaluación final	125
Evidencias	126

Divulgación de últimos avances de la Física como una estrategia didáctica para su enseñanza en el Nivel Medio Superior

Introducción

Para los docentes resulta frustrante encontrar, en algunas ocasiones, escasa evidencia de aprendizaje en los alumnos. Es más preocupante aún cuando este efecto no es directamente atribuible a la falta de preparación de la clase o al escaso uso de recursos didácticos. El aprendizaje superficial o memorístico es más común entre adolescentes cuando la asignatura requiere niveles altos de abstracción y por lo tanto, un esfuerzo cognitivo importante por parte de los estudiantes como es el caso de la física.

Partiendo de la teoría constructivista de Piaget encontramos que las personas construyen su propio conocimiento a partir del estado de desequilibrio que les produce el conflicto cognitivo con la realidad. Es decir, el proceso de enseñar y aprender física no es efectivo a menos que los alumnos entren en contacto con la realidad física y ésta desafíe la estructura cognitiva que genera su visión del funcionamiento de la naturaleza y del entorno.

Este trabajo se centra en la enseñanza de la física para estudiantes del nivel medio superior, el cual comprende un rango de edad típico de 15 a 18 años. La teoría del aprendizaje del mismo autor nos dice que a esa edad los adolescentes ya han alcanzado el pensamiento formal, pero estudios posteriores (Molina y Rada, 2013) indican que al menos en España y Latinoamérica hasta el 73.5% de los adolescentes podrían encontrarse en el periodo de transición hacia la capacidad de razonamiento abstracto. Si la física se enseña sin considerar este dato, se puede provocar en los alumnos frustración, resultados desfavorables, y una actitud de rechazo y desinterés que tiene su origen por lo general en la escuela secundaria.

Por otro lado, Ausubel nos menciona que el aprendizaje significativo es aquél en el que el conocimiento nuevo se integra con el conocimiento previo a través de un esfuerzo voluntario del alumno por hacer la relación, el cual podría ser el equivalente al encuentro del significado con el equilibrio cognitivo señalado por Piaget. Ausubel además estableció que el aprendizaje significativo requiere del cumplimiento de dos condiciones:

- 1) Que el alumno *quiera* ajustar su estructura cognitiva.
- 2) Que el nuevo conocimiento sea *potencialmente significativo* para el alumno, es decir, relacionable con el conocimiento previo y aceptado voluntariamente, es decir, sin imposición (Gutiérrez, 2014).

Con lo expuesto hasta el momento, y tomando en cuenta que en ocasiones el docente puede en parte subsanar las deficiencias en los conocimientos previos de los alumnos, considero que uno de los factores esenciales en el proceso exitoso de enseñanza-aprendizaje es la motivación del alumno, y esta a su vez se encuentra estrechamente relacionada con el logro de aprendizaje significativo. En este sentido sugiero que es posible diseñar una estrategia didáctica basada en material de divulgación científica, que ligue el interés de los alumnos por los temas novedosos de la física moderna con los temas de física de los planes de estudio. Este tipo de estrategia tiene el beneficio adicional de que, los estudiantes estarán dispuestos a realizar un esfuerzo por comprender y no sólo por memorizar, además ante la dificultad de algunos de ellos para elaborar razonamiento matemático, el enfoque tendría una orientación más de física conceptual que de expresiones matemáticas y por lo tanto de operaciones abstractas.

La estrategia puede adaptarse a cualquier tema del currículum actual de la ENP y CCH si se cuenta con material suficiente y adecuado de divulgación científica, sin embargo, en vez de aplicar esta secuencia a otro tema se decidió implementarla en alumnos de ambos bachilleratos de la UNAM para evaluar la respuesta en poblaciones de diferentes modelos educativos.

Finalmente, en cuanto al rol del docente me parece que parte del contacto con la realidad que deben tener los alumnos es la interacción social con sus compañeros, y estoy convencido también de que para lograr la no imposición del conocimiento se debe delegar parte de la autoridad en los alumnos para que ellos tengan libertad de compartir en grupo dudas y conocimientos, así como también para investigar y plantearse preguntas, por lo que el papel que me parece más adecuado para el docente dentro de la estrategia que propongo es la de andamiaje en la zona de desarrollo próximo de Vygotsky. Es decir, la idea es que los alumnos fundamentalmente construyan su propio conocimiento de forma colaborativa y que el docente intervenga cuando lleguen a un punto en el que necesiten apoyo para poder continuar avanzando.

Con lo mencionado hasta el momento se pretende clarificar que una sola teoría no explica todos los fenómenos del proceso enseñanza-aprendizaje, de modo que para el desarrollo de este trabajo se toma la parte del conflicto cognitivo de Piaget orientado hacia el cambio en las estructuras cognitivas de los alumnos, la teoría de Ausubel se retoma con enfoque hacia la importancia de la motivación de los estudiantes y la de Vigotsky se retoma en lo referente al rol del docente en el aula.

Objetivos de trabajo

- 1) Proponer una estrategia didáctica que genere motivación en los estudiantes mediante la vinculación de material de divulgación de la física contemporánea con algunos de los conceptos fundamentales contenidos en los programas de estudio.
- 2) Implementar la estrategia didáctica en dos modelos educativos diferentes: ENP y CCH para comparar los resultados que se obtengan.

Objetivos de aprendizaje

- Que los alumnos organicen los conceptos del material de divulgación científica hacia la comparación y uso de los conceptos relativos a las ondas mecánicas y electromagnéticas.
- Que los alumnos adquieran conocimientos nuevos (reconozcan y expliquen) acerca de la física contemporánea a partir del material de divulgación científica.
- Que se interesen por investigar, profundizar los temas y en su posible aplicación.

Cabe mencionar que conforme a la taxonomía de Bloom estos objetivos se encuentran dentro de los niveles cognitivos de comprensión, aplicación y análisis¹.

Método

Las características propias de la investigación educativa usualmente impiden al investigador tener un control absoluto de las variables y por lo tanto, obtener conclusiones universalmente generalizables. El método científico ha sido flexibilizado a este tipo de investigación produciendo una variedad de métodos para la investigación educativa.

El método de investigación educativa empleado es el de investigación de enfoque experimental, el cual sigue las fases del método científico y para este caso incorpora las siguientes características:

¹ Área de Innovación Curricular. (2006). Taxonomía de Bloom. 02 de Junio de 2022, de Instituto Tecnológico de Sonora
Sitio web: https://www.itson.mx/servicios/innovacion/documents/taxonomia_verbos_2.pdf

- Se emplearon grupos equivalentes para establecer comparaciones (alumnos de nivel medio superior del sistema de educación media superior de la UNAM).
- La variable dependiente son los individuos que conforman los grupos equivalentes de diferentes modelos educativos.
- La variable independiente es la estrategia utilizada con los individuos de los grupos equivalentes.
- Se utilizó comparación gráfica a fin de establecer generalizaciones a partir de los resultados de las evaluaciones practicadas a ambas poblaciones.
- Se identificó la posible existencia de variables extrañas y su grado tentativo de influencia sobre las variables dependientes.

El diseño del experimento constó de las siguientes etapas:

- **Planteamiento de un problema de conocimiento:** Los estudiantes de física del nivel medio superior muestran niveles de interés y aprendizaje por debajo de la expectativa.
- **Relación apriorística entre las variables dependiente e independiente (hipótesis):** La divulgación científica de la física contemporánea puede generar interés académico y mejores resultados en los estudiantes, pudiendo ser una estrategia aplicable a la enseñanza de diversos temas.
- **Diseño del experimento:** Se realizaron tres prácticas docentes, dos con grupos equivalentes del modelo educativo ENP área I, y la tercera práctica docente con un grupo del modelo educativo CCH. Se implementó en ellos la misma secuencia didáctica basada en la divulgación de la física de los agujeros negros y ondas gravitacionales y se relacionó con el tema de “oscilaciones mecánicas en el contexto de las ondas sísmicas y sus efectos”, el cual se encuentra en el plan de estudios de Física IV, Área I, Sexto año de la Escuela Nacional Preparatoria, y por otro lado, se relacionó con el tema “ondas mecánicas y electromagnéticas” correspondiente al plan de estudios de Física II de cuarto semestre, del Colegio de Ciencias y Humanidades.
- **Recolección de datos y análisis:** La implementación de la secuencia didáctica se acompañó de una serie de instrumentos de evaluación cuyos resultados fueron analizados usando estadística descriptiva.
- **Elaboración de conclusiones:** Se buscó establecer la veracidad o falsedad de la hipótesis con base en los resultados del análisis de la experimentación. También se establece el posible grado de generalización y alcance de estas a otros temas y poblaciones.

Finalmente se subraya que el proyecto original fue adaptado del sistema presencial al sistema de clases a distancia con motivo de la contingencia sanitaria debida a la pandemia ocasionada por virus SARS-CoV-2, con la consecuente pérdida de control sobre algunas de las variables que esto significó.

Marco conceptual

A- La motivación a través de la divulgación

La motivación como factor fundamental para el aprendizaje de la Física

El factor motivación en los estudiantes es importante porque afecta no solamente a los estudiantes menos aventajados sino que puede afectar a cualquier estudiante, existiendo casos de deserción en alumnos con buenas calificaciones a causa de la falta de motivación para seguir adelante. En este mismo sentido se debe notar que las materias relacionadas con las ciencias demandan de los estudiantes niveles altos de motivación (Deemer y Smith, 2018).

La motivación puede ser entendida como aquella energía o impulso que direcciona y enfoca nuestra conducta (White-McNulty, 2012). En el caso de los estudiantes, una de las teorías más aceptadas sobre la motivación es la de la motivación por auto-eficacia. En esta teoría, la creencia del estudiante de que posee la capacidad de realizar y dominar una tarea específica es lo que conduce su interés por determinado tipo de tareas y también determina su grado de persistencia y tolerancia ante el fracaso. Lo anterior se complementa con la teoría de la motivación por expectativa de valor, en la que se establece que la motivación en una tarea específica se encuentra en función de la expectativa de éxito en la ejecución de la misma y en la importancia que tiene la tarea para el ejecutante.

Si bien la auto-eficacia es auto-construida, el profesor puede guiar esta construcción de forma exitosa. Generalmente los estudiantes intentan resolver los problemas que creen que son capaces de resolver, pero si se consideran incapaces, la mayoría de las ocasiones ni siquiera lo intentan. En este caso, el docente puede fomentar la confianza de los estudiantes elevando de forma gradual el nivel de dificultad de los conceptos revisados en clase a modo de que los estudiantes puedan ir superando con éxito retos con diferentes grados de complejidad.

Por otro lado, también se ha observado que si bien es negativo para el estudiante formarse una imagen excesivamente incompetente de sí mismo, también lo es el extremo opuesto en el que construye una imagen excesivamente competente de sí mismo, por lo que es recomendable que el docente eventualmente proponga problemas con un nivel alto de dificultad, lo que ayudará al estudiante a ubicar sus propias habilidades dentro de un contexto de realidad, así como a entrenarse en el manejo de situaciones de frustración y estrés.

Para comprender mejor cómo funciona la motivación en los estudiantes es importante tener en cuenta que ésta se encuentra muy relacionada con el interés, o mejor dicho, con el objeto de interés con el cual se mantiene una relación positiva y de disfrute (Potvin y Hasni, 2014), por lo cual los docentes del nivel medio superior necesitan tener en consideración que por lo general los adolescentes cuentan con un historial de experiencias negativas respecto a la física y las matemáticas, afectando su interés por estas materias, lo cual significa que los docentes de física inician sus cursos con desventaja en cuanto a interés y motivación de los alumnos por la materia y por lo tanto necesitan una estrategia que revierta esta tendencia para favorecer el aprendizaje de los alumnos.

Algunos autores han señalado además que el eje de funcionamiento básico para el diseño de estrategias tiene que considerar el uso de instrumentos que contribuyan a generar un ambiente de significado social dentro de las aulas (Anderson, Hamilton y Hattie, 2004). En este orden de ideas se destacan tres puntos: en primer lugar, se requiere un cambio de enfoque de los docentes para migrar del concepto tradicional de la física como ciencia dura y formal hacia la física de interés para las colectividades, y en segundo lugar el material de divulgación científica es apto para este fin, por lo cual tiene que ser cuidadosamente seleccionado para los temas que se desee cubrir, y en tercer lugar, la colectividad con la que va a trabajar el docente es el grupo de alumnos, por lo cual el trabajo en grupo juega un papel muy relevante.

El papel de la divulgación de la ciencia como una forma de enseñanza de la física

Existe una popular clasificación de los tipos de enseñanza en formal, no formal e informal que tiene su origen en la publicación del año 1971 titulada “La crisis mundial de la educación” cuyo autor es Philip H. Coombs. La clasificación a grandes rasgos es la siguiente:

- **Educación Formal:** *Es rígida, uniforme e institucionalizada*
- **Educación No formal:** *No es educación de tiempo libre o de entretenimiento, sino que es un modelo de enseñanza con objetivos bien definidos que toma como punto de partida los recursos con que cuentan los receptores*
- **Educación Informal:** *Es el aprendizaje que se obtiene de forma empírica a lo largo de la vida*

Es importante señalar que hubo dos eventos relevantes muy cercanos en tiempo a la publicación de la importante obra de Coombs, un año antes, en 1970 la Universidad de Michigan hizo de la enseñanza no formal una de sus principales líneas de trabajo, y un año después, en 1972 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés) reconoció que la educación no es un proceso limitado a un tiempo y un espacio. En ese último año Paulston complementa la clasificación de Coombs al considerar también la enseñanza internacional (Pastor, 2001).

En el año 1973 Scribner y Cole, para quienes la enseñanza formal es sinónimo de enseñanza escolarizada, retomaron la propuesta original de Coombs y su aporte fue señalar que la enseñanza no formal es en realidad, enseñanza formal no institucionalizada.

Posteriormente en el año 1976 Thomas J. La Belle, destacado investigador y administrador educativo norteamericano hizo un aporte fundamental a la clasificación original de Coombs al indicar que la enseñanza formal y la enseñanza no formal en realidad no son entes separados sino complementarios.

Un año después, en 1977 la UNESCO definió a la enseñanza no formal como aquella que incluye actividades o programas organizados fuera del sistema escolar, pero dirigidos a objetivos educativos bien definidos.

Para el año 1990 la enseñanza no formal sería aceptada por los especialistas como un fenómeno internacional, y su medio básico es el uso de la internet, por lo cual la clasificación de los tipos de educación admitió un cuarto componente (Kedrayate, 1997):

Educación Internacional: Es aquella que se deriva de la influencia que ejercen en el país las prácticas educativas en el extranjero

Con base en lo expuesto se considera que idealmente la enseñanza formal no se debería separar de la enseñanza no formal dado que en ocasiones, los docentes tienen que introducir algún tema o subtema omiso en el plan de estudios, ya que éstos no se actualizan con la frecuencia necesaria y por lo tanto no contemplan el uso de nuevas publicaciones o el uso de nuevos recursos tecnológicos.

La posibilidad de que la divulgación de la ciencia sea usada como instrumento de enseñanza no formal en complemento de las deficiencias de la educación formal se ve reforzada al considerar que el docente en el aula por lo general no hace ciencia sino divulgación científica dado que recontextualiza y recrea la ciencia en el aula de tal forma que pueda ser entendida e interrelacionada por los estudiantes.

De lo anterior se desprende que de ciencia, en el sentido estricto de la palabra solamente hablan entre científicos, porque únicamente entre pares pueden entender con claridad el metalenguaje de las construcciones abstractas, precisas y libres de ambigüedades que la ciencia precisa. Este tipo de comunicación se conoce como difusión de la ciencia y se da por hecho que emisor y receptor tienen los mismos antecedentes de conocimiento científico y manejan el mismo lenguaje especializado sin que ninguna de las partes tenga necesidad de emplear simplificaciones para que el receptor del mensaje pueda comprenderlo. Los docentes hablan de simplificaciones contextualizadas de la ciencia y recrean ésta en las aulas y laboratorios.

Por otro lado, el sentido de la palabra divulgación ha evolucionado de forma independiente en el ámbito de la ciencia y la enseñanza, al grado de que en publicaciones modernas se pueden encontrar referencias como la siguiente: *“La realidad es que el concepto de divulgación ha evolucionado para ser entendido en la actualidad como una recontextualización de la situación comunicativa con la finalidad de establecer un diálogo pertinente entre el emisor y el público general no especializado o con sectores específicos de éste, como podrían serlo por ejemplo los estudiantes. Se debe también tener cuidado de no confundir la divulgación con la vulgarización, porque ésta última es una simplificación de extrema sencillez que pierde todo contacto con el contexto científico”* (Michel y García, 2014).

Por lo tanto, la función docente es mayormente una labor de enseñanza a través de la divulgación de la ciencia, dado que profesor y alumno no son pares y a que dentro de las aulas no se hace ciencia, sino que ésta se recrea y se valida en un contexto y en un lenguaje accesible para los alumnos con la intención de que éstos puedan asimilar los conceptos científicos de forma progresiva y dentro de los parámetros de sus propias limitaciones.

Es importante señalar que la literatura disponible referente al papel de la divulgación de la ciencia en la enseñanza es escasa, esto posiblemente a causa de que a la fecha continúa abierto el debate acerca de si es válido o no emplear la divulgación científica dentro de la enseñanza formal. Aún dentro de este contexto existen algunos autores que han publicado artículos acerca del uso de la divulgación científica en la enseñanza de la física, por ejemplo: (Varela y Martínez, 2005), (Palacios, 2007), (García-Molina, 2011), de quienes se puede extraer que algunos de los principios fundamentales del uso de este recurso son los siguientes:

- **Contacto directo de los alumnos con la realidad física inmediata o virtual**
- **Interacción constante entre los compañeros de grupo durante el proceso de aprendizaje**
- **Sustitución del rol por parte de los alumnos de receptores de conocimiento a investigadores**

La divulgación científica como estrategia de enseñanza de la Física

El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española la define textualmente a la ciencia como: *“conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente”*²

Por lo general el conocimiento científico a través del curso de la historia ha sido relegado de las grandes audiencias y la divulgación científica ha cobrado gradualmente un cierto grado de relevancia en las últimas décadas.

Una vez que se ha resaltado la relevancia de la divulgación científica, se propone el uso de la siguiente definición: *“La divulgación de la ciencia es una labor multidisciplinaria, cuyo objetivo es comunicar, el conocimiento científico a distintos tipos de público, mediante el uso de una diversidad de medios, recreándolo con fidelidad y dándole contexto para hacerlo accesible”*. Se subraya que la contextualización es importante debido a que se tiene que procurar que los temas sean acordes con los intereses y preocupaciones del público (Sánchez, 2010).

² Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española. España: Espasa

Tradicionalmente se ha considerado que la divulgación científica no es enseñanza formal de la ciencia dado que no se sigue un currículo específico, el público es voluntario y no cautivo y finalmente, el objetivo no es que el público aprenda sino que disfrute. Entonces ¿la divulgación de los últimos avances de la física pueden usarse como estrategia didáctica?. Existen posturas encontradas, sin embargo en años recientes algunos autores como (Calvo, 2012) y (Pérez-Manzano y Almela-Baeza, 2018) han comenzado a aceptar que *la divulgación de la ciencia puede emplearse como un recurso didáctico* (Sánchez, 2010).

Más aún, en años recientes el valor educativo de la divulgación científica ha adquirido gran relevancia en el ámbito latinoamericano:

“Se propone tratar la divulgación científica en la enseñanza de las ciencias desde tres roles diferentes: como recurso didáctico, como fuente de aprendizaje, y como objeto de estudio en sí misma, donde el hecho central a destacar es la relación de interdependencia que mantienen la divulgación científica y la enseñanza de las ciencias y que por la flexibilidad de la primera se puede convertir en una herramienta potente para apoyar procesos educativos tanto escolarizados como no escolarizados” (Escobar-Ortiz, J.M. y Rincón-Álvarez, A., 2018).

Hay que mencionar también que en el mundo actual los avances de la ciencia y tecnología pueden cambiar en cuestión de meses y que los currículos de las materias de física a nivel medio superior no se revisan con la frecuencia que se necesitaría para estar siempre actualizados. Por otro lado, el docente que está en contacto directo con los estudiantes de forma cotidiana puede detectar sus intereses, por lo tanto tiene oportunidad para incorporar a su clase algún tipo de material de divulgación científica con el objetivo de generar motivación en los estudiantes por el estudio de temas específicos, a la vez que se pueden crear situaciones de aprendizaje no formal e incentivación del razonamiento lógico.

La divulgación científica se puede valer de cualquier forma de comunicación masiva que permita la transmisión de un mensaje a grandes auditorios, el libro por ejemplo es un medio tradicional de difusión y divulgación científica, y conforme ha avanzado la tecnología a través del tiempo se han incorporado otros elementos como por ejemplo el documental televisivo, el canal de youtube, páginas de internet, redes sociales, la ponencia/exposición verbal, el artículo científico, y los carteles, entre otros. En esta investigación fundamentalmente se emplearán artículos de divulgación científica y videos de divulgación científica en youtube.

B. Las teorías psicológicas del aprendizaje a considerar en la divulgación

El conflicto cognitivo de Piaget como punto de inicio

La constante interacción de los conocimientos previos y nuevos de los alumnos para la construcción de nuevos modelos, y la adquisición de conocimientos nuevos conforme a la teoría de Piaget son producto de algún tipo de conflicto cognitivo o de lo contrario carecerían de novedad alguna.

El conflicto cognitivo es fundamentalmente un estado de contradicción entre el conocimiento previo de los alumnos y el nuevo conocimiento. Es importante indicar que el conflicto cognitivo por sí solo no propicia aprendizaje dado que se puede presentar en diferentes niveles:

- **Conflicto cognitivo con el entorno inmediato:** puede provenir de una lectura, de escuchar una opinión o de observar una demostración
- **Conflicto cognitivo con la experiencia previa:** la información que obtiene de su ambiente no concuerda con el recuerdo de la experiencia previa, puede provenir de un experimento
- **Conflicto cognitivo con las propias ideas (metacognición):** Es un estado de reflexión profundo en el cual el alumno adquiere consciencia de que se encuentra en medio de una contradicción consigo mismo. Se manifiesta en forma de interés por comprender algo, aunque mal manejado se puede manifestar como ansiedad. Consta de tres etapas:
 - Preliminar
 - Conflicto
 - Resolución

El conflicto cognitivo de Piaget inicialmente fue entendido desde un enfoque individualista, lo cual ha sido criticado por la psicología moderna, así que se ha replanteado con un enfoque dialéctico en lo que se conoce como el “conflicto sociocognitivo”. Bajo esta nueva perspectiva la discusión en la que se intercambian puntos de vista es lo más importante para la generación de aprendizaje. Esta nueva corriente es conocida también como “La Escuela de Ginebra”, y Piaget es su principal exponente (Medrano, 1995).

Dentro de este contexto de conflicto sociocognitivo propiciado en una discusión, es importante subrayar que el conflicto cognitivo siempre genera algún nivel de conflicto socio afectivo en el grupo, el cual puede conducir a la pérdida de cohesión en los grupos de trabajo y a la pérdida de interés reflexivo a nivel individual. Debe entenderse por conflicto afectivo aquel choque violento de personalidades y caracteres dentro de un grupo de trabajo.

En este sentido, se aconseja que el docente al ser quien desempeña el rol de liderazgo de los grupos de trabajo dentro del aula, haga uso de algunas acciones con la finalidad de controlar el efecto del conflicto socio afectivo (Escudero, 2013):

- **Acciones moderadoras:** Son aquellas tendientes a la construcción de un ambiente de confianza y apertura para el intercambio de ideas en el aula
- **Acciones mediadoras:** son aquellas que transmiten un mensaje de desvinculación de la carga afectiva negativa respecto al intercambio de ideas, es decir, las correcciones y contradicciones dentro del grupo de trabajo no se hacen a nivel personal, se hacen con la intención de resolver el conflicto cognitivo

Se considera importante puntualizar que el conflicto cognitivo de Piaget y la capacidad de pensamiento formal (razonamiento lógico-abstracto) son conceptos diferentes al de pensamiento crítico (que no se aborda en este trabajo) dado que los dos primeros corresponden a una experiencia personal que expande las estructuras mentales y a un proceso de maduración del cerebro que se alcanza con el transcurso del tiempo respectivamente, mientras que el pensamiento crítico como lo definen algunos autores (Schafersman, 1991) es una habilidad adquirida que consiste en el seguimiento de los pasos del método científico en los procesos de razonamiento cotidiano, académico, y científico, a fin de obtener conclusiones más apegadas a la realidad.

El razonamiento y la solución de problemas en física desde la teoría de Piaget

En la enseñanza de la física de la mayoría de los grados educativos, al igual que en muchas otras disciplinas, los docentes tienden a saturar de información a los estudiantes con una infinidad de conceptos a los cuales la mayoría de los alumnos no les encuentran aplicación práctica en su entorno, perdiéndose así el sentido educativo dado que no se entrena a los estudiantes en el razonamiento de los temas centrales de los planes de estudio, sino que este tipo de prácticas solo capacitan al alumno para realizar tareas repetitivas (Serna y Florez, 2013).

En este sentido se puede plantear una definición de razonamiento: *“Es un proceso del cerebro que se desarrolla a través del uso de la lógica y del análisis del estado relacional de los diversos factores que interactúan en una situación determinada con la finalidad de desarrollar conclusiones correctas, es decir, coherentes y sin contradicción”* (Serna y Florez, 2013).

El desarrollo de la capacidad para razonar comienza en la infancia, a partir del momento en que el niño adquiere la habilidad de formarse conceptos del mundo que lo rodea (aproximadamente a partir de los 2 años), y se desarrolla principalmente durante el transcurso de la adolescencia, por eso es importante señalar que los estudiantes de los primeros semestres del nivel medio superior muy probablemente aún no la han desarrollado y no la alcanzarán de forma natural sino que requerirán de una “atmósfera intelectual” que favorezca su desarrollo, y los docentes pueden

contribuir a su evolución, a través del empleo de actividades que estimulen la capacidad de pensamiento (Duchesne, 2020).

Piaget desarrolló una prueba que parece simple, pero que puede proveer mucha información acerca del desarrollo de la capacidad de razonamiento de un niño o adolescente, es la prueba de la conservación de la cantidad de líquido en un recipiente:

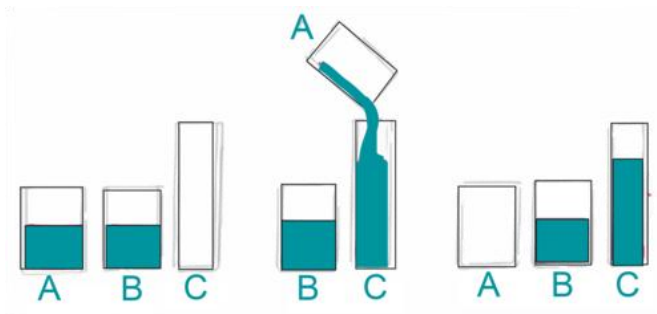


Figura 1.- Prueba de Piaget de la conservación de la cantidad de líquido en un recipiente.

*Fuente: <https://jeanpiagetworld-blog.tumblr.com/post/107899816011/the-conservation-experiments>

En esta prueba se pregunta al niño o preadolescente de entre 10 y 12 años que si se vierte el contenido de uno de los recipientes de (a) en un envase de mayor altura y menor diámetro (b), y luego se comparan los recipientes de diferente altura (c) ¿en cuál de ellos hay mayor volumen de líquido?. Aquí se hace evidente que la capacidad de razonamiento está íntimamente ligada con el pensamiento científico y la física desde la perspectiva de que la prueba puede ser conceptualizada como un sistema que tiene una condición inicial y una condición final y que además ocurre una transformación en las condiciones (Flavel, Miller y Miller, 2002).

Profundizando en las características del razonamiento, se puede decir también que a medida que se desarrolla la capacidad para razonar, el alumno va adquiriendo la capacidad para visualizar la reversibilidad en los procesos, y también va migrando del pensamiento cualitativo a uno cuantitativo, es decir, comienza a visualizar que existen cierto tipo de problemas que se pueden resolver a través del razonamiento, y que para ellos se pueden obtener soluciones específicas que son susceptibles de ser calificadas como correctas a la luz de una inspección lógica.

Piaget observó que a menor edad del alumno se tiene menor capacidad de razonamiento, por lo cual en la prueba del líquido de Piaget tienden a concentrarse más en las condiciones iniciales y finales que en formarse una representación de los cambios y menos aún a inferir cambios futuros. En términos generales, Piaget identificó que cuanto menor capacidad de razonamiento se tiene, se observa una mayor fijación en la concentración espacial y una capacidad reducida para discernir transformaciones que ocurren a través del tiempo.

Entre las diferencias más notables que se pueden encontrar entre personas que tienen capacidad de razonamiento más cercano a la lógica formal que a la intuición y experiencias previas se puede señalar que antes del periodo de la adolescencia los alumnos intentan sacar conclusiones fundamentándose exclusivamente en los datos que les provee la evidencia visual. Conforme al

proceso de evolución de la capacidad del pensamiento que inicia con la adolescencia, los estudiantes comienzan a aceptar la idea de que la solución lógica de cierto tipo de problemas “debe” existir, aunque no la puedan ver y sea intangible.

Para un preadolescente que está en proceso de desarrollo del pensamiento formal, la abstracción de la solución de un problema es considerada como una porción incierta de la realidad, es decir, tiende a insertar sus propios razonamientos en la realidad de forma directa (pensamiento empírico inductivo). En cambio, un adolescente que ha alcanzado la habilidad de razonamiento formal y abstracto tiene capacidad para analizar el problema, elaborar hipótesis, deducir cuál solución se adapta mejor a la realidad, y finalmente la pone a prueba (pensamiento hipotético deductivo). Es claro que la implementación del método científico está íntimamente relacionada con la capacidad de razonamiento formal y abstracto.

En cuanto a la comprensión del pensamiento científico, el trabajo pionero de Piaget señaló el camino a seguir, sin embargo muchos otros investigadores han estudiado y complementado sus teorías, algunas de las cuales se exponen a continuación (Flavell, Miller y Miller, 2002).

Se cuenta con evidencia que apunta a que los niños de entre 5 y 7 años tienen un conocimiento intuitivo de las cosas que los rodean y de su comportamiento típico. Esto es observable especialmente en tres áreas: *psicología, biología y física*. El progreso cognitivo ocurre mediante la generación de modelos mentales (Los cuales son el conjunto de elementos y relaciones que representan de manera análogo-estructural un estado de las cosas específico, siendo necesario emplear más de un modelo mental en situaciones de razonamiento lógico y formal (Moreira y Greca, 2018). Aunque este proceso de elaboración de modelos mentales es muy dinámico y creativo al inicio (4-5 años), produciéndose una constante generación de modelos mentales que reemplazan a los anteriores, con el paso del tiempo se pierde impulso y se identifica una edad promedio (10 años) a partir de la cual se acepta un modelo básico y la nueva generación cognitiva no lo reemplaza, sino que lo complementa.

El conocimiento intuitivo de la ciencia es particularmente interesante, sobre todo en el área de la física, donde autores como Spelke y otros han realizado descubrimientos, por ejemplo (Flavell, Miller y Miller, 2002):

- Los estudiantes en edad preescolar frecuentemente pueden predecir acertadamente que una pelota que es expulsada de un canal curvo adquirirá una trayectoria recta
- Los estudiantes de 11 años e incluso estudiantes universitarios frecuentemente cometen el error de pensar que un objeto que se deja caer de un vehículo en movimiento cae en línea recta

Si por cognición (del latín *cognoscere* – conocer) se entiende que es la capacidad de procesar el conocimiento, y por metacognición se entiende que es la capacidad para autorregular el propio conocimiento, se puede afirmar que el pensamiento científico requiere de capacidades metacognitivas. *Los alumnos tienden a aferrarse a las teorías o conocimientos previos porque las están usando para pensar*, sin embargo, la confrontación de la teoría personal con la evidencia y el desarrollo de la capacidad de aceptar que la evidencia puede no encajar con la teoría personal requiere un nivel de pensamiento más elevado: que se reflexione acerca de la validez de la teoría.

Los docentes del nivel medio superior, y especialmente los de física deben tener presente que aunque en apariencia los estudiantes pudieran llegar a las aulas sin nociones suficientes en la materia, la realidad es que los adolescentes si llegan a las aulas con nociones previas de la física, pero generalmente son nociones y conceptos inexactos o definitivamente erróneos que de no corregirse pueden generar en el estudiante confusión y fracaso académico al combinarlos con conceptos correctos y comprobables.

El esquema de trabajo de aprendizaje colaborativo y de autogestión del conocimiento

Por aprendizaje colaborativo se entiende: “El uso instruccional de pequeños grupos de tal forma que los estudiantes trabajen juntos en situaciones de interacción para maximizar su propio aprendizaje y el de los demás” (Collazos, Guerrero y Vergara, 2001).

En el proceso de enseñanza tradicional el profesor detenta la autoridad en el aula. En un proceso de aprendizaje colaborativo el profesor delega una determinada autoridad en los alumnos para que asuman responsabilidad por su propio aprendizaje, de este modo el profesor deja de ser un instructor institucionalizado para tomar el rol de mediador cognitivo.

Existen diversos enfoques y estudios acerca del aprendizaje colaborativo y en la mayoría de ellos se resalta la importancia del objetivo de la colaboración sobre el del aprendizaje, dado que el aprendizaje es consecuencia de la colaboración, al desarrollar actividades de aprendizaje en grupos pequeños la interacción personal produce actividades complementarias en los individuos a nivel consciente e inconsciente que son benéficas para el logro del objetivo de aprendizaje, como son por ejemplo: motivación, soporte, y regulación de la conducta (Collazos, Guerrero y Vergara, 2001).

Uno de los pilares del modelo de aprendizaje colaborativo es la motivación interna que el profesor y el trabajo colaborativo fomentan en los estudiantes al desarrollar en ellos el interés por determinados temas, de tal forma que los estudiantes mismos son quienes gradualmente definen los objetivos que desean alcanzar dentro de su proceso de aprendizaje y también tienen libertad para elegir las herramientas y elementos que desean emplear para lograrlos.

La autogestión del conocimiento se alcanza con el desarrollo de las habilidades de metacognición, y en el nivel medio superior la mayoría de los adolescentes aún se encuentran en proceso de desarrollo de este tipo de habilidades, por esta razón se considera que la función reguladora que cumple el trabajo colaborativo es una muy buena alternativa de trabajo en el aula.

Finalmente cabe señalar que ya sea en el rol de alumnos como en el rol de docentes, la mayoría de las personas en algún momento han tenido contacto con el trabajo colaborativo sin haber alcanzado el objetivo de aprendizaje, y posiblemente algunas de ellas calificarían la experiencia como desagradable. En este punto se debe subrayar que la efectividad del trabajo colaborativo está en función de que exista verdadera interdependencia entre los estudiantes. En conclusión, el aprendizaje colaborativo requiere que exista motivación por parte de los alumnos para compartir información y conocimientos así como para también desempeñar roles complementarios de trabajo (Collazos, Guerrero y Vergara, 2001).

C- Modelos educativos del sistema de bachillerato de la UNAM considerados en la secuencia didáctica

La importancia del concepto de secuencia didáctica

La secuencia didáctica es un documento que contiene la programación de las actividades generadoras de situaciones de aprendizaje dentro y fuera del aula en función de los objetivos, de los recursos disponibles y de las características de los estudiantes.

Vista desde una perspectiva más amplia, la secuencia didáctica es un subproceso del proceso docente y puede ser considerada como el subproceso crítico, porque de ella depende el resultado satisfactorio de todo el trabajo en su conjunto (Hernández, 2007).



Figura 2.- La elaboración de la secuencia didáctica es el subproceso crítico del proceso docente visualizado en conjunto (Hernández, 2007).

A su vez, las secuencias didácticas se subdividen en dos formatos de presentación: la secuencia didáctica larga que abarca la programación del ciclo de un curso y la secuencia didáctica corta que abarca la programación de un tema desglosado en una serie de sesiones y en las cuales se recomienda que se propongan actividades académicas de recuperación para los alumnos que obtengan malos resultados en las evaluaciones (Hernández, 2007).

La siguiente tabla resume los elementos básicos de las secuencias didácticas:³

Naturaleza	Son la organización de actividades que tiene como finalidad crear situaciones de aprendizaje significativo
Estructura	Integra los contenidos de aprendizaje y de evaluación en sus tres dimensiones: diagnóstica, formativa y sumativa
Secuencia	Se encuentra conformada por tres tipos de actividades: Apertura, desarrollo y cierre
Evaluación	La forma de evaluación debe estar estrechamente vinculada a las actividades de aprendizaje y ser conocida por los alumnos desde el inicio del curso
Fuentes de consulta	Contiene referencias de información básica que el estudiante requiere para realizar las actividades de la secuencia. Incluye bibliografía, hemerografía, y cibergrafía

La aplicación de la taxonomía dentro de las secuencias didácticas

En el ámbito educativo la taxonomía es la clasificación de los niveles de proceso cognitivo de los estudiantes en función de las expectativas de aprendizaje planteadas por el docente. Estos niveles de proceso cognitivo son los siguientes: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear.

Dentro de la labor docente es fundamental considerar esta clasificación en las planeaciones didácticas, dado que ayudan a priorizar los aprendizajes esperados para la materia y permiten también identificar los recursos necesarios para alcanzarlos a la vez que se tiene en cuenta el nivel de proceso cognitivo que los alumnos requieren para lograrlos (Anderson y Krathwohl 2001).

Las diferentes taxonomías del ámbito educativo que han surgido a través del tiempo son: Anderson Y Krathwohl (2001), Krathwohl (2002) y Churches (2008), las cuales al igual que la

³ Díaz-Barriga, A. (N/D). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. 04 de junio de 2022, de Universidad Autónoma Metropolitana Sitio web: http://envia3.xoc.uam.mx/envia-2-7/beta/uploads/recursos/xYYzPtXmGJ7hZ9Ze_Guia_secuencias_didacticas_Angel_Diaz.pdf

taxonomía original de Bloom y Krathwohl (1956) acota y esquematiza las habilidades cognitivas que los alumnos deben desarrollar con la particularidad que superan a la taxonomía de 1956 en el sentido de que consideran que crear es la habilidad superior de pensamiento dentro de la clasificación (Caeiro, 2019), por esta razón se eligió usar en este trabajo la taxonomía de 2001.

Los diferentes modelos educativos y las secuencias didácticas

Conforme al avance en la evolución de la teoría de elaboración de secuencias didácticas en las ciencias, actualmente se cuenta con tres modelos básicos los cuales son: a) El modelo de reconstrucción educativa en el cual el elemento básico es la selección y secuenciación de contenidos b) El modelo de demanda de aprendizaje el cual se basa en la identificación de los niveles cognitivos que demandan los contenidos así como la interacción de los alumnos en el aula, c) El modelo basado en la modelización el cual se fundamenta en la extrapolación de los modelos mentales de los estudiantes hacia la elaboración de modelos escolares. Adicionalmente, también hay que tener en cuenta el modelo de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) el cual es aplicado principalmente en escuelas de educación superior de las ciencias médicas y que tiene la particularidad de que los problemas de la vida real son los que guían las necesidades de aprendizaje que los alumnos cubren en grupos de trabajo reducidos, constituyéndose en lo que se considera es el modelo de aprendizaje no convencional por excelencia (Caamaño, 2011).

Con base en lo expuesto, la secuencia didáctica implementada tiene el enfoque del modelo de demanda de aprendizaje en virtud de que los adolescentes se encuentran en periodo de transición al pensamiento formal y el uso de una taxonomía educativa contribuye a identificar los niveles de demanda cognitiva que se pide a los estudiantes en las diferentes actividades que se les asignan a la vez de que se favorece el aprendizaje colaborativo. Se señala también que por lo general las secuencias didácticas están más orientadas hacia la secuenciación de los contenidos en los planes de estudio que en la identificación de los niveles de evolución cognitiva que los alumnos deben desarrollar para asimilar los contenidos.

Implementación de la estrategia

Planes de estudio del sistema de bachillerato de la UNAM

El sistema de bachillerato de la UNAM cuenta con dos modalidades: la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH). El plan de estudios de la ENP fue actualizado en el año 1996 y fue revisado en el año 2016, y conforme a la circular DGIR/DG/009/17 publicada por la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios, los programas de asignatura fueron actualizados en el año 2017 y se comenzaron a aplicar en el ciclo 2018-2019. Su principal objetivo es la formación integral del estudiante, y el enfoque metodológico que maneja según lo publicado en su página web, se funda en los siguientes elementos esenciales: la construcción sistemática y progresiva del conocimiento, la enseñanza centrada en el alumno, el uso de los contenidos como medios para desarrollar competencias, y la organización curricular en áreas del conocimiento, las cuales son cuatro: matemáticas, ciencias naturales, histórico social, y lenguaje comunicación y cultura.

Por otro lado, el CCH conforme a al plan de estudios actualizado en el año 1996, el cual fue revisado en el año 2016, y conforme a la circular DGIR/DG/010/17 publicada también por la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios, los programas de asignatura fueron actualizados en el año 2017 y se comenzaron a aplicar en el ciclo 2017-2018. Desde su origen, el objetivo del CCH se planteó para constituirse en una propuesta educativa diferente a las existentes, y con la encomienda fundamental de “educar más y mejor a un número mayor de mexicanos” (Gaceta UNAM, 01 de Febrero de 1971). En su enfoque educativo destaca la intención de que el maestro funja como un orientador que ayuda a que el alumno aprenda a aprender, aprenda a ser y aprenda a hacer, con un enfoque dirigido hacia las materias básicas, en fuerte oposición al conocimiento enciclopédico. Actualmente ha reconocido la influencia que tienen las tecnologías de la información en el proceso enseñanza aprendizaje y ha implementado medidas para incorporarlas en la práctica docente de sus profesores.

Para la etapa de la experimentación fue seleccionado el plan de estudios de la Escuela Nacional Preparatoria porque la pretensión era relacionar los temas de divulgación científica con el tema de ondas, el cual se ubica en la asignatura “Física IV” del área I, dentro del plan de estudios correspondiente al sexto año con el título “Ondas mecánicas en el contexto de las ondas sísmicas y sus efectos”.

Caracterización de la población y datos de identificación de los planteles

Con el fin de corroborar que la divulgación de temas de la física contemporánea puede ser implementada para la enseñanza de la Física en el nivel medio superior, la secuencia didáctica se implementó en planteles educativos cuyo modelo educativo es diferente, y por lo tanto el tipo de población contempla diferentes perfiles de formación. Se aplicó en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH). En la ENP se tiene un esquema positivista de orientación teórica organizado a partir de la jerarquización de las ciencias, mientras que en el CCH se maneja un modelo educativo de tipo constructivista.

En el caso del bachillerato de la UNAM se puede afirmar que son escasos los estudios actualizados, sistemáticos y profundos acerca de la población estudiantil. Sin embargo, en diversas investigaciones se ha reconocido que *los procesos de admisión de diversas instituciones de educación pública presentan un sesgo hacia la exclusión social* de los grupos sociales menos favorecidos (Guzmán y Serrano, 2007). A continuación, se muestran algunos datos extraídos del Perfil de Aspirantes y Asignados a Bachillerato y Licenciatura de la UNAM 2019-2020 (Universidad Nacional Autónoma de México, 2020).

- 78.2% de los alumnos ingresan con una edad de 15 años
- 0.0 % de aspirantes mayores a 26 años fueron seleccionados
- 49.6% son hombres y 50.4% son mujeres
- 94.4% viven en la Ciudad de México o en el Estado de México
- 97.2% son solteros
- 99.8% no tienen hijos
- 51.9% obtuvieron un promedio mayor o igual a 9.1 en secundaria
- 96.3% nunca presentó un examen extraordinario en secundaria
- 89.1% dice tener mucha insistencia por parte de sus padres para continuar sus estudios
- 86.8% invierte menos de una hora en el transporte
- 80.4% consulta libros en casa
- 97.8% cuenta en casa con computadora de escritorio o lap top
- 35.5% de las madres de los alumnos cuentan con licenciatura o posgrado, completo o incompleto
- 37.4% de los padres de los alumnos cuentan con licenciatura o posgrado, completo o incompleto

De los datos previos se puede inferir que, si bien el capital cultural de los alumnos de bachillerato de la UNAM no es el mejor, son adolescentes solteros y sin hijos, que tienen acceso casi total a computadoras y libros en sus casas, que viven predominantemente en poblaciones urbanas cercanas a los planteles educativos y que provienen de hogares donde se valoran sus buenos resultados académicos. Por lo tanto, se puede decir que casi la totalidad de los estudiantes del nivel medio superior de la UNAM provienen del 39.1% de hogares en México que tienen un ingreso medio igual o superior a ocho mil pesos mensuales que es la media nacional (Redacción Animal Político, 2020).

Los planteles de la Escuela Nacional Preparatoria en las cuales se implementó la estrategia propuesta fueron:

- a) Escuela Nacional Preparatoria No. 8 “Miguel E. Schulz”, con domicilio en Avenida Lomas de Plateros S/N, Colonia: Merced Gómez, Alcaldía: Álvaro Obregón, Código postal: 01600, Ciudad de México. La implementación se realizó en un grupo con 19 hombres y 5 mujeres de entre 17 y 18 años, en promedio, que asistieron de forma regular.
- b) Escuela Nacional Preparatoria No. 4 “Vidal Castañeda y Nájera”, con domicilio en Avenida Observatorio 170, Colonia: Observatorio, Alcaldía: Miguel Hidalgo, Código postal: 11860, Ciudad de México. La implementación se realizó en un grupo con 26 hombres y 27 mujeres de entre 17 y 18 años en promedio que asistieron de forma regular

En la Escuela Nacional Preparatoria esta secuencia se ubicó en la asignatura de Física IV, de sexto año, área I, del Plan 1996 revisado en el año 2016 (obligatoria), específicamente en la Unidad I: “Oscilaciones mecánicas en el contexto de las ondas sísmicas y sus efectos”, y se implementó en los dos grupos señalados en los párrafos anteriores.

Los subtemas de esta primera unidad son los siguientes: Ondas sísmicas, estructura de la Tierra, principio de conservación de la energía, elasticidad (Ley de Hooke y teoría del rebote elástico), esfuerzos (Módulo de Young), sismógrafos, Leyes de Newton (Estática). Como se puede apreciar, la unidad es amplia y la secuencia didáctica fundamentalmente incide en los subtemas de ondas sísmicas y estructura de la Tierra.

Los temas de divulgación científica propuestos (ondas gravitacionales e imagen de un agujero negro) también son aplicables, en el tema I “Ley de la Gravitación Universal: masa y peso; energía potencial gravitacional”, el cual se ubica en la Unidad 1: “Movimiento de satélites”, del plan de estudios de Física III (Cuarto año de la ENP) de 1996 revisado en 2016.

El plantel del Colegio de Ciencias y Humanidades donde se implementó la estrategia propuesta fue el siguiente:

- Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur, con domicilio en Avenida Cataratas y Llanura S/N, Colonia: Jardines del Pedregal, Alcaldía: Coyoacán, Código postal: 04500, Ciudad de México. La implementación se realizó en un grupo con 3 hombres y 10 mujeres de entre 16 y 17 años en promedio que asistieron de forma regular.

En el CCH esta secuencia se ubicó en la asignatura Física II del plan 1996 revisado en el año 2016 (obligatoria), en la Unidad 2: “Ondas: Mecánicas y electromagnéticas”. Los estudiantes del CCH de cuarto semestre para cursar Física II cursaron previamente Física I, Matemáticas I, Matemáticas II, Matemáticas III, Química I, y Química II. En ese semestre cursan además Matemáticas IV. Es importante subrayar que no existe seriación alguna entre las materias mencionadas.

Los subtemas de esta segunda unidad son los siguientes: Amplitud, frecuencia, longitud de onda, velocidad, periodo, ondas mecánicas y electromagnéticas longitudinales y transversales, sonido y luz, ondas y partículas, energía de las ondas, espectro sonoro, espectro electromagnético, reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización, resonancia, efecto Doppler, sistemas de diagnóstico médico de detección de sismos y de telecomunicaciones, contaminación sonora y electromagnética. La unidad se encuentra enfocada por completo al tema de ondas por lo cual la secuencia didáctica incide en la mayoría de los subtemas.

En este modelo educativo los temas de divulgación científica propuestos también son aplicables al tema: “Dispersión y color”, el cual se ubica en la Unidad 4: “Sistemas Ópticos”, del plan de estudios de Física IV (Optativa).

Objetivos de la propuesta

La propuesta tiene como eje el uso de la divulgación científica como estrategia didáctica con la finalidad de generar motivación en los estudiantes de nivel medio superior por el tema de ondas mecánicas y electromagnéticas. En el inciso anterior se señalan los grupos en los que se aplicó y los temas con los que está relacionada en cada programa de estudios. Tomando como base los objetivos de las materias y el tema elegido, se propusieron los siguientes objetivos para la estrategia:

El alumno:

- 1- Fomentará el pensamiento abstracto y comprenderá la importancia que tiene el concepto de ondas en la física contemporánea y en la física clásica. Profundizará en su estudio para entender sus elementos fundamentales y comparará las semejanzas y diferencias que tienen las ondas mecánicas y electromagnéticas.
- 2- Analizará los aspectos generales de la física de los agujeros negros y las ondas gravitacionales a través del uso de material de divulgación científica, e identificará la relevancia del concepto de ondas en ellos.
- 3- Explicará a grandes rasgos la estructura interna de la Tierra, el fenómeno de propagación de las ondas sísmicas y de la radiación de calor del magma volcánico, esto a través del uso de material de divulgación científica. Identificará la relevancia de las ondas mecánicas y electromagnéticas en los dos fenómenos mencionados.
- 4- Desarrollará habilidades para trabajar en equipo, resolverá ejercicios numéricos y responderá preguntas conceptuales relacionadas con los temas. Explorará la Internet en búsqueda de información y utilizará simuladores computacionales.

Taxonomía

Tomando en cuenta las dimensiones del proceso cognitivo de los análisis taxonómicos, se hizo una revisión de los resultados de los 25 productos de evaluación de la secuencia didáctica que se tenían considerados en la primera y segunda implementación, y se encontró que muchos de ellos presentaban un sesgo, dificultando el discernimiento del grado de aprendizaje de los alumnos.

Con motivo de lo anterior se aplicó el criterio de la clasificación taxonómica de Anderson y Krathwohl, con la finalidad de identificar y eliminar los productos que no proporcionaban información útil acerca de la evolución de los procesos cognitivos de los estudiantes. De esta forma el número de elementos para evaluar la secuencia didáctica se redujo a 9 para la tercera implementación. Las 7 preguntas y las instrucciones para la elaboración de 2 cuadros así como la tabla taxonómica se presentan a continuación:

- 1- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?
- 2- Elabora un cuadro sinóptico acerca del tema “agujeros negros”
- 3- ¿Cómo es que se pueden llegar a escuchar las ondas gravitacionales?
- 4- En tus propias palabras, ¿qué es el color?

5- Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera de 300 000 (km/s).

Nota: Investigar la información que se necesite

6- Elabora un cuadro comparativo entre las ondas mecánicas y electromagnéticas

7- Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de un cuanto de radiación electromagnética y estima la temperatura del magma con la expresión de Wien. Nota: Investigar la información que se necesite

8- Justifica si el magma emite o no radiación electromagnética

9- Ejecuta la simulación “color visión” y explica por qué si se proyecta luz blanca sobre el filtro rojo la persona percibe la luz de color rojo

	Dimensión del proceso cognitivo					
Dimensión de conocimiento	Recordar (reconocer, memorizar)	Comprender (clasificar, explicar)	Aplicar (ejecutar, implementar)	Analizar (diferenciar, atribuir)	Evaluar (revisar, criticar)	Crear (planear, producir)
Conocimiento factual (de terminología y elementos)	1	2, 9		8		
Conocimiento conceptual (de teorías, principios y generalizaciones)		3,4		6		
Conocimiento procedimental (de criterios, procedimientos y métodos)			5			
Conocimiento metacognitivo (de estrategia y operaciones cognitivas)			7			

A continuación, se muestra la relación que tienen las preguntas con los objetivos de aprendizaje:

Actividades	Objetivos de aprendizaje relacionados
3,6,9	1: Elementos fundamentales de las ondas mecánicas y electromagnéticas
1,2,3	2: Agujeros negros y ondas gravitacionales
4,8	3: Estructura interna de la Tierra
4,5,7,8,9	4: Desarrollo de habilidades para trabajar en equipo, resuelve ejercicios numéricos y preguntas conceptuales

Secuencia didáctica

En la tercera práctica docente la intención era probar el funcionamiento de la misma secuencia aplicada a una población distinta, pero fue necesario ajustarse a la forma de trabajar del profesor del grupo, por esta razón a diferencia de las prácticas anteriores donde la comunicación con los alumnos fue solo a través de correo electrónico, en esta ocasión se realizó el ajuste de utilizar la plataforma Teams⁴ como medio de comunicación, interacción y organización de archivos. Con los nombres de los alumnos facilitados previamente por el profesor supervisor, se les contactó a través de la plataforma, se les notificó que se iba a implementar una serie de actividades a lo largo de cinco sesiones de una hora cada una siendo tres de ellas de trabajo asincrónico y las dos restantes, la primera y la última se realizaron bajo la modalidad de videoconferencia.

⁴ En lo sucesivo: “la plataforma”

A continuación se presenta la secuencia didáctica⁵ de la tercera implementación, los cambios respecto a las dos implementaciones anteriores son que conforme al análisis taxonómico, el número de productos que los alumnos generaron en las actividades se redujo a 9 (4 preguntas, 2 ejercicios numéricos, 1 cuadro sinóptico, 1 cuadro comparativo y 1 simulación computacional) lo cual contribuyó a la reducción del número total de sesiones de 6 a 5, adicionalmente se empleó la plataforma, y 2 de las 5 sesiones de una hora (la primera y la última) fueron a través de videoconferencia. Por el contrario, en las implementaciones en la ENP todo el trabajo fue asincrónico y el medio de comunicación fue el correo electrónico. Finalmente se resalta que en todas las implementaciones las primeras actividades se centraron en interesar a los estudiantes en el tema mediante el uso de material de divulgación científica.

También es importante señalar que en virtud de que la interacción social es un componente básico en el aprendizaje, y de que el trabajo en parejas es la forma de organización en la cual los alumnos pueden integrarse y organizarse con mayor facilidad además de ser la más sencilla de implementar por parte del docente, en el ajuste de secuencia didáctica, para las prácticas 2 y 3, se propone que todas las actividades sean realizadas en equipos de dos personas (Eggen y Kauchak, 2012).

Es necesario precisar que derivado de la contingencia sanitaria ocasionada por el virus *SARS-CoV-2* la UNAM implementó las clases a distancia en todos sus niveles y modalidades, por lo cual los recursos necesarios en todas las sesiones tanto para el docente como para el alumno son computadora y conexión a internet. A continuación, se muestra la descripción a detalle de la secuencia didáctica empleada en la tercera implementación:

Sesión 1: Presentación y Evaluación inicial

Apertura:

Actividades del docente

La implementación de la secuencia didáctica comienza con la presentación del docente al grupo, en la cual también se realiza una breve reseña de las actividades a desarrollar, lo cual incluye la proyección de las rúbricas con los aspectos a evaluar, las cuales pueden ser descargadas desde el drive de archivos de apoyo de la secuencia didáctica y también se escuchan las opiniones de los alumnos al respecto (ANEXO 1).⁶

www.drive.google.com/file/d/1tbyHS_SUrIFpQgjYe6hNxjyk6aDudLT-/view?usp=sharing

⁵ **Nota aclaratoria:** Todos los recursos digitales utilizados fueron encontrados en Internet, son usados con fines exclusivamente educativos y se encuentran debidamente citados. No existe ni se fomenta ánimo alguno de apropiación, distribución y/o lucro.

⁶ En caso de que el lector encuentre deshabilitado el link de descarga se pide al lector consultar los anexos

Enseguida, con la finalidad de asegurar que los alumnos cuenten con material de consulta bibliográfica se les comparten los links de consulta en Internet del libro “Física Universitaria” de Sears y Zemansky decimosegunda edición, Volúmenes 1 y 2.⁷

http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/FISICA_LQ/Francis%20Sears,%20Mark%20Zemansky.pdf

https://www.altascapacidadesarca.org/wp-content/uploads/2018/12/Fisica_General_-_Fisica_Universitaria_Vol_2__ed_12Sears-Zemansky.pdf

Actividades de los alumnos

Los estudiantes por su parte, revisan la secuencia de actividades y la forma de evaluación y después de emitir sus opiniones al respecto redactan unos renglones en los cuales reflexionan si los temas de ondas mecánicas, electromagnéticas y agujeros negros son temas actuales y si piensan que puede haber algún tipo de relación entre ellos. Suben archivos en formato Word, PDF, o fotografía⁸ a la plataforma.

Desarrollo:

Actividades del docente

Proyecta a través de la plataforma la evaluación diagnóstica, la cual se puede descargar en la siguiente dirección electrónica: (ANEXO 2)⁹

www.drive.google.com/file/d/1sB9_wMnwom6FDKc1OYcOFwy3FRV-OzBg/view?usp=sharing

Mientras la evaluación diagnóstica es proyectada, el docente resuelve dudas respecto a la comprensión de las preguntas. Se aclara también que los resultados de esta evaluación no producen una calificación porque los resultados han de emplearse sólo con fines estadísticos.

⁷ Al ser recursos tomados de la red que posiblemente en algún momento pudieran encontrarse deshabilitados, se pide al lector la consulta por cuenta propia de las obras citadas

⁸ En los sucesivos se hará referencia a este tipo de archivos como “entregables”

⁹ Se sugiere al lector consultar los anexos

Actividades de los alumnos

Los alumnos resuelven la evaluación diagnóstica y suben su entregable a la plataforma, al término expresan dudas y comentarios acerca de las posibles respuestas a la evaluación diagnóstica.

Cierre:

Actividades del docente

Para concluir esta sesión el docente proyecta el video: “Nobel de Física a científicos expertos en agujeros negros”, el cual se encuentra disponible en el canal de Youtube “RED MÁS Noticias” con fecha del día 6 de octubre de 2020¹⁰

www.youtube.com/watch?v=z1DthYiRB_A

Actividades de los alumnos

Después de ver el video los alumnos complementan los renglones que escribieron en la etapa de apertura, mencionando si al término de la sesión mantienen o no la misma opinión. Suben sus entregables a la plataforma.

Sesión 2: Aprendiendo más acerca de los agujeros negros

Apertura:

Actividades del docente

Para iniciar la segunda sesión el docente pide a los alumnos que en una hoja de papel esquematicen el tamaño de la Tierra en comparación con un agujero negro, y en cuanto la mayoría manifieste haber finalizado les pregunta en general si consideran que es posible escapar de un agujero negro, solamente se escuchan las opiniones de los alumnos sin profundizar en el tema.

¹⁰ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
www.drive.google.com/file/d/1haVI2jf-iUhrxwnSomhcqRUoFXmarPn0/view?usp=sharing

Posteriormente pide a los estudiantes que se organicen libremente en equipos de dos personas con la posibilidad de cambiar de compañero de equipo en todo momento a condición de que expresen los motivos. Se aclara también que todas las actividades a excepción de las evaluaciones inicial y final son en equipo.

Actividades de los alumnos

Después de haberse organizado en equipos, los estudiantes elaboran el esquema solicitado, escriben la respuesta a la pregunta en su cuaderno y suben sus entregables a la plataforma.

Desarrollo:

Actividades del docente

El docente proyecta a los alumnos los siguientes videos relacionados con temas de Física:

a) “Agujeros negros 101” el cual se encuentra disponible en el canal de Youtube “National Geographic España”¹¹ con fecha del 3 de julio de 2019 (02:55)

<https://www.youtube.com/watch?v=S-d9Lklf16Y>

b) “6 cosas que no sabías sobre los agujeros negros” el cual se encuentra disponible en el canal de Youtube “Instituto de Física Teórica IFT”¹² con fecha del 30 de noviembre de 2016 (05:37)

<https://www.youtube.com/watch?v=BGysGloA49M>

c) “Captan agujero negro que devora una estrella” el cual se encuentra disponible en el canal de Youtube “Megatodías”¹³ con fecha del 2 de octubre de 2019 (01:14)

<https://www.youtube.com/watch?v=Of9t8tx9s1s>

¹¹ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
www.drive.google.com/file/d/1qnsZ3euawE8D3WLCADXF0p169Ufqkzal/view?usp=sharing

¹² También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
www.drive.google.com/file/d/1l-AQ-tldhj8W0ZYJ3CSGsA5mHLWyyvm9J/view?usp=sharing

¹³ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
www.drive.google.com/file/d/1o5-gxzn_GfK7J36mma7ABzkpAxskxL7-/view?usp=sharing

d) Se proporciona el siguiente artículo: “Los agujeros Negros” Alcubierre Miguel, Revista ¿Cómo ves? No. 44, edición impresa Julio de 2002 (ANEXO 3)¹⁴, el cual puede ser descargado desde la siguiente dirección electrónica:

www.comoves.unam.mx/assets/revista/44/los-agujeros-negros.pdf

e) Se proporciona la presentación “Agujeros Negros” (ANEXO 4)¹⁵, la cual se puede descargar desde el drive de archivos

www.drive.google.com/file/d/1KVwaLW1Ib9D8VNQbeRH4LR0N5eYYXtGp/view?usp=sharing

La presentación a la cual se hace referencia se comparte con la intención de clarificar los aspectos más relevantes del material previamente revisado

Actividades de los alumnos

En equipos de dos personas los alumnos observan los videos, leen el artículo y analizan la presentación identificando las ideas principales y las ecuaciones más importantes.

Cierre:

Actividades de los alumnos

En la fase final de esta sesión los alumnos elaboran en equipos un cuadro sinóptico acerca de los agujeros negros, a computadora o a mano y suben sus entregables a la plataforma. Resuelven también el ejercicio numérico propuesto a computadora o a mano y suben sus entregables a la plataforma. En ambos casos se les recuerda que deben anotarse claramente los nombres de los integrantes de los equipos. A continuación se proporciona el link de descarga del ejercicio numérico propuesto (ANEXO 5)¹⁶.

www.drive.google.com/file/d/1R5-jDiO4pFVmUZNF7hqXlslsGoxO3Ls2/view?usp=sharing

Redactan unos renglones en los cuales mencionan si consideran correctos el esquema y la respuesta que dieron en la etapa de apertura. Suben sus entregables a la plataforma.

¹⁴ Se sugiere al lector consultar los anexos

¹⁵ Se sugiere al lector consultar los anexos

¹⁶ Se sugiere al lector consultar los anexos

Actividades del docente

El docente proporciona el ejercicio numérico a resolver y orienta y ayuda a los alumnos a estructurar la conceptualización de los cuadros sinópticos.

Sesión 3: Las ondas gravitacionales y la imagen de un agujero negro

Apertura:

Actividades del docente

A través de la plataforma, se pide a los alumnos que respondan dos preguntas en sus cuadernos:

- a) ¿Alguna vez has escuchado como suena una onda gravitacional?
- b) Si fotografiaras un agujero negro con tu celular, ¿qué imagen crees que obtendrías?

Actividades de los alumnos

Los alumnos responden las preguntas planteadas y suben sus entregables a la plataforma.

Desarrollo:

Actividades del docente

El docente proporciona los siguientes recursos para el grupo:

- a) Video: “Así sonó la primera onda gravitacional jamás escuchada” el cual se encuentra disponible en el canal de Youtube “Tec Review”¹⁷ con fecha del 11 de febrero de 2016 (01:06)

<https://www.youtube.com/watch?v=cBBwmsFYn1g>

¹⁷ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
www.drive.google.com/file/d/1NtsYoJ_488Xdx2juAWajqJazKENsUKBI/view?usp=sharing

b) Imagen: La primera imagen de un agujero negro (ANEXO 6)¹⁸

www.drive.google.com/file/d/1ksNj68yvdmuwjiuJoaqPj8n09hHgZVor/view?usp=sharing

c) Lectura 1: “Astronomía de mensajeros” (6 páginas) Sergio de Régules, Revista ¿Cómo ves? Número 229, diciembre de 2017 (ANEXO 7)¹⁹

<http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/229/astronomia-de-mensajeros-multiples.pdf>

d) Lectura 2: “Te explicamos qué son las ondas gravitacionales, cuya detección ha sido galardonada con el Nobel de Física de 2017” (4 páginas) Nadia Drake, National Geographic, noviembre de 2017 (ANEXO 8)²⁰

www.nationalgeographic.es/espacio/2017/10/te-explicamos-que-son-las-ondas-gravitacionales-cuya-deteccion-ha-sido-galardonada

e) Lectura 3: “Retrato de un hoyo negro” (6 páginas) Sergio de Régules, Revista ¿Cómo ves? Número 221, abril de 2017 (ANEXO 9)²¹

www.comoves.unam.mx/assets/revista/221/retrato-de-un-hoyo-negro.pdf

f) Lectura 4: “El corazón de las tinieblas, primera observación directa de un agujero negro” (3 páginas) Guillermo Abramson, Revista desde la Patagonia, difundiendo saberes Vol 16 No. 27 2019 (ANEXO 10)²²

<http://revela.uncoma.edu.ar/htdoc/revela/index.php/desdelapatagonia/article/view/2360/pdf>

g) Se proporciona presentación en Power Point “Ondas gravitacionales e imagen de un agujero negro” (ANEXO 11)²³

www.drive.google.com/file/d/1Uei0_CuSNKB8Ziw1WVSQUZ3oDRSRKo-h/view?usp=sharing

Actividades de los alumnos

Organizados en equipos de dos personas, los alumnos revisan el material proporcionado buscando ampliar sus respuestas de apertura e identificando las ideas principales. También realizan investigación propia para ampliar la información.

¹⁸ Se sugiere al lector consultar los anexos

¹⁹ Se sugiere al lector consultar los anexos

²⁰ Se sugiere al lector consultar los anexos

²¹ Se sugiere al lector consultar los anexos

²² Se sugiere al lector consultar los anexos

²³ Se sugiere al lector consultar los anexos

Cierre:Actividades del docente

Proporciona a los alumnos un cuestionario con cuatro preguntas: (ANEXO 12)²⁴. También retroalimenta y evalúa las respuestas que los alumnos proporcionan en los cuestionarios.

www.drive.google.com/file/d/1p97xh5FFbOMA85Jt4tRDdOsuqK8je1E/view?usp=sharing

Actividades de los alumnos

Resuelven el cuestionario y suben sus entregables a la plataforma.

Sesión 4: Estructura de la Tierra y su relación con los terremotos y las erupciones volcánicas

Apertura:Actividades del docente

El docente pide a los alumnos que en una hoja de papel realicen un dibujo de la forma como piensan se encuentra configurada la estructura interna de la Tierra y también que respondan a la pregunta: ¿Cómo se generan los sismos?

Actividades de los alumnos

Los alumnos por su parte realizan el dibujo que se les solicita, escriben la respuesta a la pregunta en su cuaderno y suben sus entregables a la plataforma.

Desarrollo:Actividades del docente

Se proporcionan a los alumnos los siguientes videos:

²⁴ Se sugiere al lector consultar los anexos

a) Video: “Dinámica interna de la Tierra” de Obra Social Caja Madrid y que se encuentra disponible en el canal de Youtube “Canal Geografía”²⁵ (01:06)

<https://www.youtube.com/watch?v=s18BsNVOXTw>

b) Video: “¿Qué es un sismo? que se encuentra disponible en el canal de Youtube “Canal Once”²⁶ con fecha del 15 de septiembre de 2015 (03:08)

www.youtube.com/watch?v=5HFQHRQwrt4

c) Video: “Demonstrating P and S seismic waves” del Dr. Keith Miller (Universidad Kansas State), disponible en el canal de Youtube Keith Miller²⁷ con fecha del 21 de enero de 2012 (09:06). Este video está en idioma inglés, sin embargo se utiliza debido a su valor ilustrativo y se proporciona parte del diálogo traducido al idioma español.

www.youtube.com/watch?v=gjRGlpP-Qfw

d) Resumen de traducción del video “Demostración ondas S y P” (ANEXO 13)²⁸. Se proporciona link de descarga desde el drive de archivos de apoyo.

www.drive.google.com/file/d/1k9nxJDOjmqJFLt65mbcQtaTzMk9Rh71U/view?usp=sharing

e) Video: “Espectro electromagnético 1 NASA Español” que se encuentra disponible en el canal de Youtube “Antenas y Salud”²⁹, atribuido a la NASA con fecha del 18 de julio de 2014 (05:11)

<https://www.youtube.com/watch?v=K-up0o96Vhw>

Se proporcionan dos artículos a los alumnos para su lectura y análisis relacional entre los fenómenos que describen y los fenómenos físicos que involucran.

f) Lectura: “¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden?” (8 páginas) Víctor Hugo Espíndola Castro y Xyoli Pérez Campos. Revista Ciencia Volumen 69 Número 3, julio-septiembre de 2018 (ANEXO 14)³⁰.

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf

²⁵ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:

www.drive.google.com/file/d/1y62Rv6_ZfGnPIbVU-Ehf-VTvMkrAzLuC/view?usp=sharing

²⁶ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:

www.drive.google.com/file/d/1kqB1x1KLhpw4wEGQzUA20vUCTpvkx3z/view?usp=sharing

²⁷ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:

www.drive.google.com/file/d/1GcliaRERum19qbS5jXlqnMTySWKJW7lz/view?usp=sharing

²⁸ Se sugiere al lector consultar los anexos

²⁹ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:

www.drive.google.com/file/d/1yPIOCskBFegqWHW3eKKyk2cJGgNWcrNK/view?usp=sharing

³⁰ Se sugiere al lector consultar los anexos

g) Lectura 2: “Popocatépetl. Vivir en riesgo” (6 páginas), Uan Marcial, Revista Ciencias, número 41, Enero-Marzo 1996 (ANEXO 15)³¹.

www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/download/11488/10813

Actividades de los alumnos

Los alumnos organizados en equipos de dos personas revisan el material proporcionado poniendo especial interés en todos los fenómenos relacionados tanto con las ondas mecánicas como electromagnéticas y realizan investigación propia para ampliar la información acerca de estos temas de la física.

Cierre:

Actividades de los alumnos

Los alumnos elaboran en equipos un cuadro comparativo a computadora o a mano indicando las similitudes y diferencias entre las ondas mecánicas y electromagnéticas, suben sus entregables a la plataforma. También Redactan una breve reflexión de un par de renglones acerca del dibujo y la respuesta que dieron en la etapa de inicio, expresando si consideran que sus respuestas eran correctas o si las modificarían con base en la nueva información.

Actividades del docente

El docente retroalimenta y evalúa los cuadros comparativos de los alumnos.

³¹ Se sugiere al lector consultar los anexos

Sesión 5: Ondas mecánicas y electromagnéticas. Evaluación final

Apertura:

Actividades del docente

El docente pide a los alumnos que respondan las siguientes preguntas en archivo electrónico o en hoja de papel: a) ¿Qué es el espectro electromagnético? y b) ¿Qué es el espectro electromagnético visible?

Actividades de los alumnos

Los alumnos contestan la pregunta y suben sus entregables a la plataforma.

Desarrollo:

Actividades del docente

El docente proporciona el siguiente material a los alumnos:

a) Presentación en power point: “Ondas mecánicas y electromagnéticas” (ANEXO 16)³². Con este material se pretende que los alumnos reafirmen los conceptos más relevantes respecto al tema. Puede ser descargado del drive de archivos.

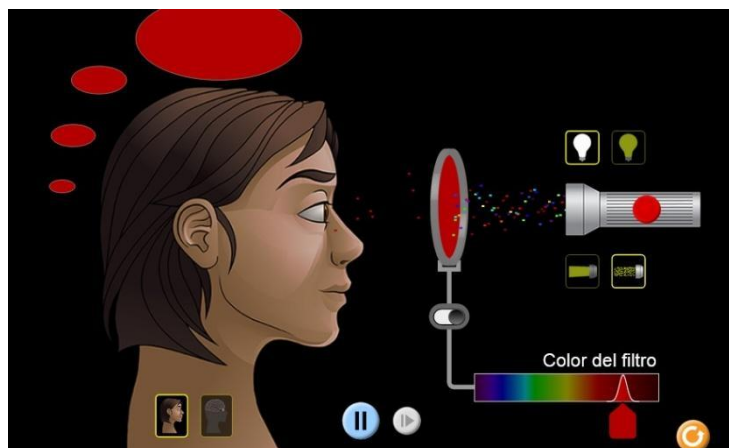
www.drive.google.com/file/d/1mBFSfE50BJVavvcEg6ATqnrEtQwjvXBU/view?usp=sharing

b) Simulación Phet llamada “visión del color”³³. La intención es básicamente que los alumnos interactúen con el simulador y que puedan visualizar fenómenos y asociarlos con conceptos físicos.

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/color-vision>

³² Se sugiere al lector consultar los anexos

³³ También se puede descargar desde el drive de archivos de apoyo:
<https://drive.google.com/file/d/1TUPaJ1CjXc7gwy2V-5NbkmXpVbDVX24F/view?usp=sharing>



Los alumnos muestran mucho interés por la simulación computacional en la cual el objetivo es que visualicen el efecto de un filtro de color sobre la luz blanca

Actividades de los alumnos

Los alumnos organizados en equipos de dos personas revisan la presentación tratando de identificar las características más relevantes de las ondas y sus ecuaciones. Interactúan también con el simulador con la intención de visualizar el efecto de los filtros en la luz blanca.

Cierre:

Actividades del docente

a) Proporciona un archivo con el ejercicio correspondiente a la actividad y pide la explicación del fenómeno que se observa en la simulación cuando al proyectar una luz blanca sobre el filtro el ojo humano la percibe como roja: (ANEXO 17)³⁴

www.drive.google.com/file/d/1gjnHzjnXA5pk_4yuT6moHILYZWwhVoLt/view?usp=sharing

b) Proporciona la evaluación final: (ANEXO 18)³⁵

www.drive.google.com/file/d/1DrRoHgw3TDmDaspp1C-P5LGVWXhxulkf/view?usp=sharing

c) Finalmente, el docente evalúa y retroalimenta los cuestionarios de los alumnos

³⁴ Se sugiere al lector consultar los anexos

³⁵ Se sugiere al lector consultar los anexos

Actividades de los alumnos

Los estudiantes contestan el ejercicio y proporcionan la explicación de la simulación que se solicita y escriben también una reflexión de un par de renglones en donde mencionan si consideran que sus respuestas de inicio fueron correctas o si se podían complementar. Suben sus entregables a la plataforma.

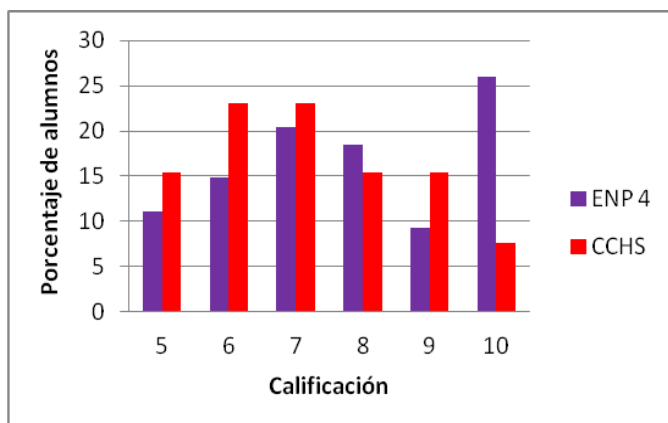
Por último, contestan la evaluación final de forma individual, a computadora o a mano y suben sus entregables a la plataforma.

Resultados de las implementaciones y análisis

Resultados y comentarios respecto a preguntas de la evaluación diagnóstica

A continuación, se muestran los resultados de las preguntas de la evaluación diagnóstica que tenían la intención de conocer el grado de interés de los alumnos por la ciencia, su capacidad para relacionar sus conocimientos de física con su entorno, así como su nivel de habilidad matemática. Como ya se dijo, las tres aplicaciones fueron en la ENP 8 con una muestra de 24 alumnos, en la ENP 4 con una muestra de 53 alumnos y finalmente, en el CCH Sur donde se pretendía principalmente observar los resultados con un cambio de población la muestra fue de 13 alumnos ya que debido a la huelga estudiantil la participación fue voluntaria. También se menciona que el profesor del grupo solicitó que utilizara las mismas herramientas que él estaba utilizando (Plataforma TEAMS), por lo que la comparación de los resultados no es directa ya que no hubo únicamente cambio de bachillerato sino un cambio en la estrategia al incluir sesiones sincrónicas.

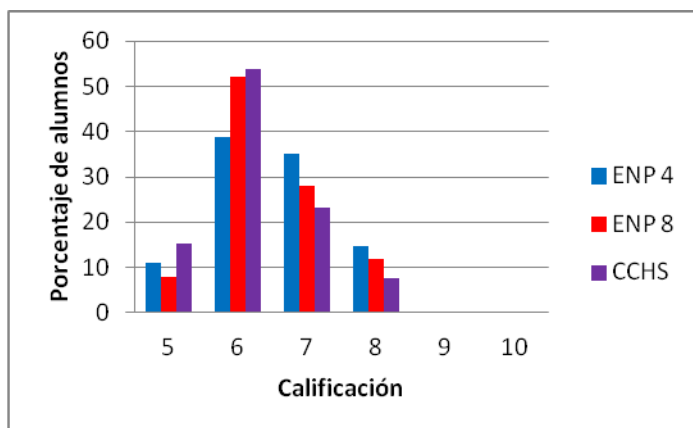
1- ¿Sabes lo que es un agujero negro? Proporciona una breve explicación



No se muestran los resultados obtenidos con los estudiantes de la ENP 8, ya que esta pregunta se formuló después de la primera implementación.

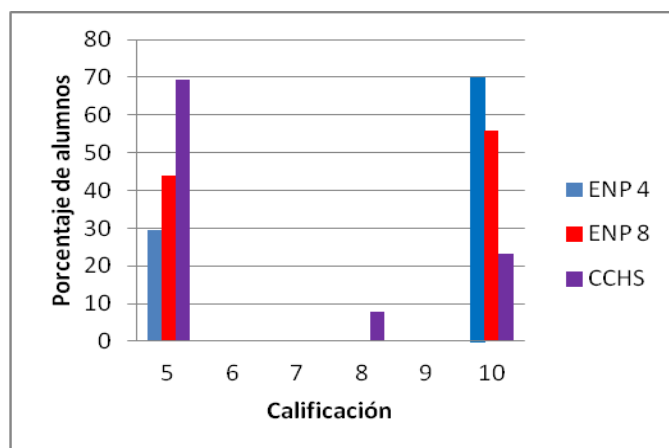
Observaciones: Los alumnos de ambos grupos están parcialmente interesados en temas recientes de la física destacando los alumnos de ENP.

2- Si en este momento estuviera en el espacio sin traje espacial ni nave, ¿Qué piensas que le sucedería a tu cuerpo y por qué?



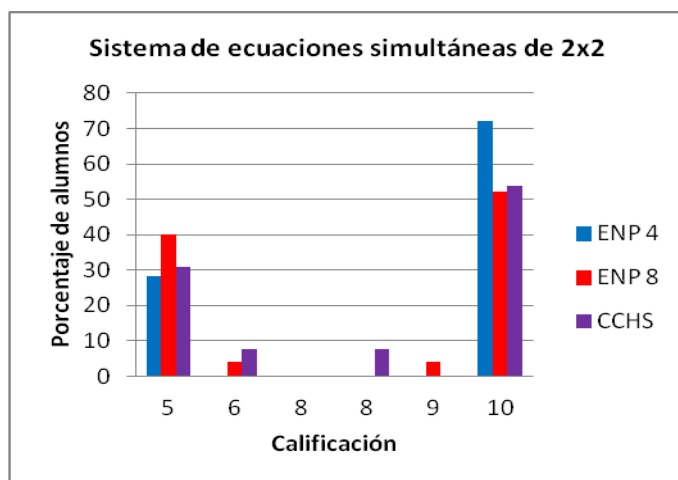
Observaciones: Las tres poblaciones responden de manera similar, observando que los alumnos tienen dificultades para encontrar la relación entre conceptos físicos y su entorno.

3- Factorización ecuación de segundo grado



Observaciones: Más del 50% de los alumnos de ENP pudieron factorizar correctamente, sin embargo, únicamente 30% de los alumnos de CCH Sur logró hacerlo de manera satisfactoria. Hay que tener en cuenta que los alumnos de ENP eran del último año y los de CCH Sur de un año anterior.

4- Solución de un sistema de ecuaciones simultáneas de 2x2

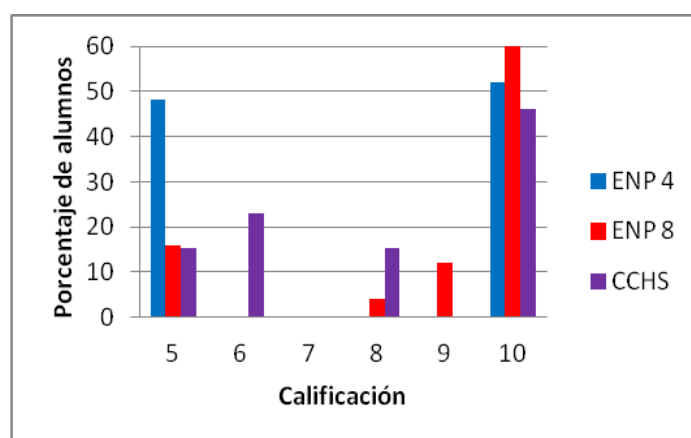


Observaciones: En todos los grupos poco más del 50% de los alumnos pudieron resolver un sistema de ecuaciones simultáneas de 2x2. Estos resultados y los de la pregunta anterior sugieren que la mayoría cuenta con conocimientos de matemáticas adecuados para la física de bachillerato.

Resultados y comentarios respecto a preguntas de la evaluación formativa

A continuación, se muestran los resultados de las nueve preguntas y actividades de las evaluaciones formativas aplicadas durante las tres implementaciones.

1- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?

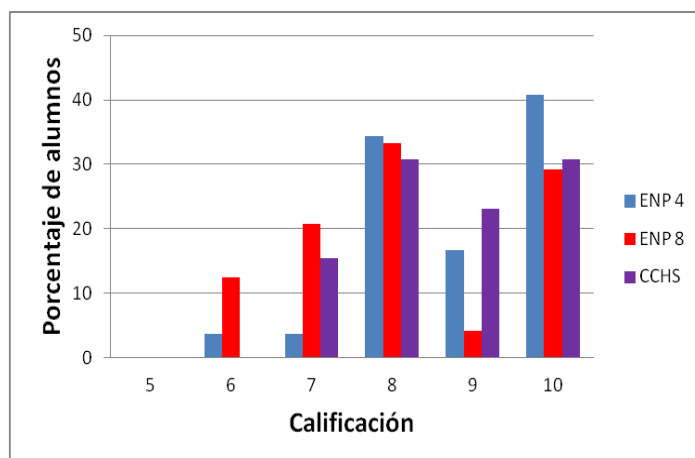


Observaciones: La respuesta estaba explícita en la lectura. En los tres grupos aproximadamente el 50% de los estudiantes tienen respuestas correctas; resalta que de los estudiantes de ENP 4 contestan mal casi el 50%. La gráfica bimodal puede mostrar que la mitad de los estudiantes no leyeron el artículo o que tienen muy mala comprensión lectora. Siendo más benevolentes pudiera indicar que la información proporcionada en el artículo compite con la información inexacta difundida a través de los medios de comunicación.

Este resultado hace suponer que los alumnos no comprenden lo que leen y está en concordancia con los resultados de evaluaciones de logro escolar publicados por el INEE en los cuales para la competencia de lectura de alumnos de bachillerato privado se tiene una media de 504 puntos, lo cual los ubica en el nivel 3 de 6 e indica que para ellos con frecuencia la información de lectura no es evidente, está en conflicto con otra o incluso es contraria a las expectativas del lector.³⁶

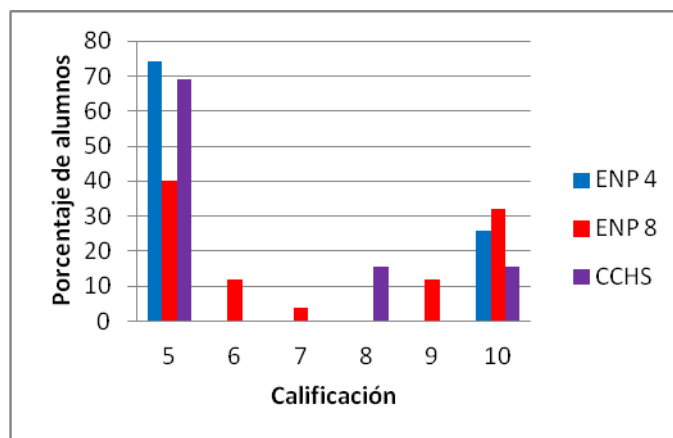
³⁶ Díaz, M.A. (2012). Desempeño de los estudiantes al final de la educación media superior en PISA 2012. Febrero 17, 2022, del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación Sitio web: <https://historico.mejoredu.gob.mx/wp-content/uploads/2018/12/P1D313.pdf>

2- Elabora un cuadro sinóptico acerca del tema Agujeros Negros



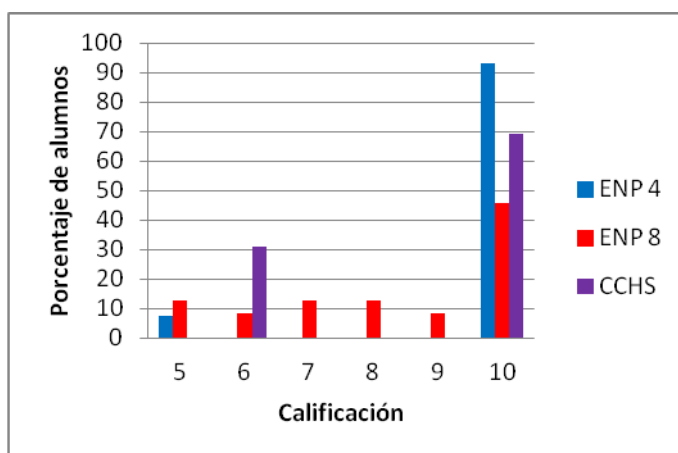
Observaciones: Todos los grupos pudieron jerarquizar bien sus ideas en un cuadro sinóptico lo que indica que no tienen problemas para organizar la información.

3- ¿Cómo es que se pueden llegar a escuchar las ondas gravitacionales?



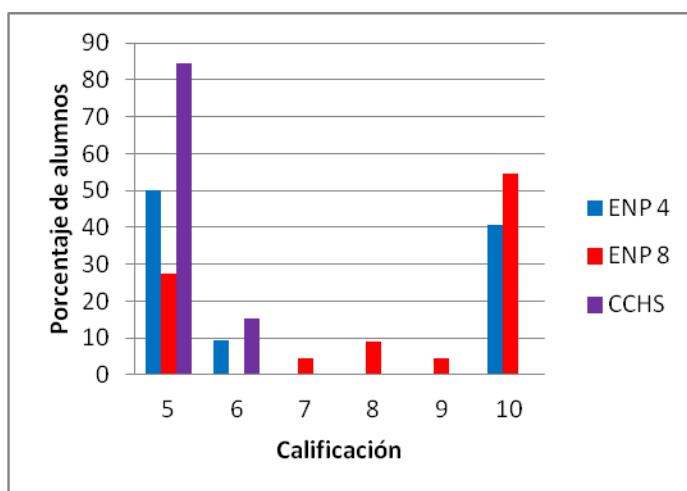
Observaciones: La mayoría de los estudiantes, en los tres grupos falló al identificar en la lectura que las ondas gravitacionales no se escuchan directamente, por lo que nuevamente se hace evidente que se compite con los errores de los medios de comunicación o que a causa de sus deficiencias en competencia lectora la información pudo ser incomprensible para ellos.

4- En tus propias palabras, ¿Qué es el color?



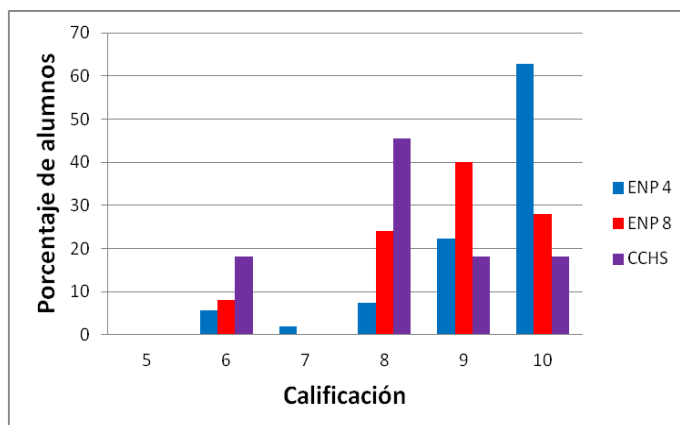
Observaciones: Si bien en la pregunta anterior se encontraron aparentes deficiencias en la comprensión de lectura, esto no es obstáculo para que los alumnos expresen conceptos físicos con sus propias palabras. Por lo tanto, se deduce que más que un problema de comprensión de lectura se tiene que los alumnos prefieren ver videos a realizar lecturas. Destacan los buenos resultados de la ENP 4 y el CCH Sur.

5- Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera 300 000 km/s



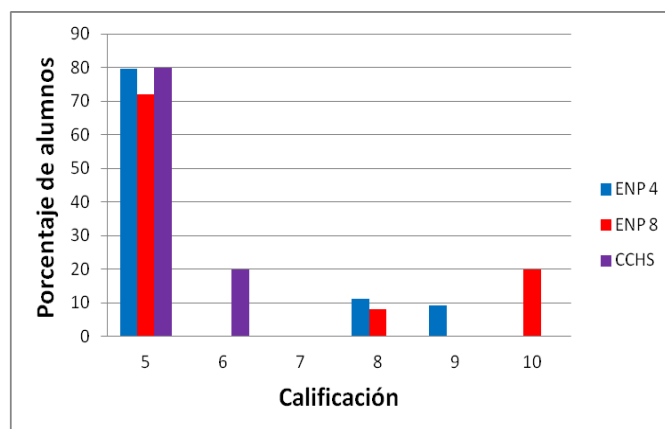
Observaciones: Aunque en ENP 8 más del 50% pudieron resolver correctamente el ejercicio, los alumnos de ENP 4 y CCH Sur obtuvieron resultados desfavorables. Aunque en particular, los alumnos de CCH Sur son de un año anterior, en general se observaron dificultades con el uso de la calculadora y manejo de notación científica.

6- Elabora un cuadro comparativo entre las ondas mecánicas y electromagnéticas



Observaciones: Casi la totalidad de alumnos de los tres grupos obtuvieron calificaciones iguales o superiores a 8, lo que concuerda con el resultado obtenido en la pregunta 2 relacionada con la capacidad de organización de la información. En esta pregunta no tuvieron problema en identificar semejanzas y diferencias conceptuales entre los tipos de ondas. Posiblemente influye la mayor escolaridad de la ENP en los buenos resultados.

7- Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de un cuanto de radiación electromagnética y estima la temperatura con la expresión de Wien

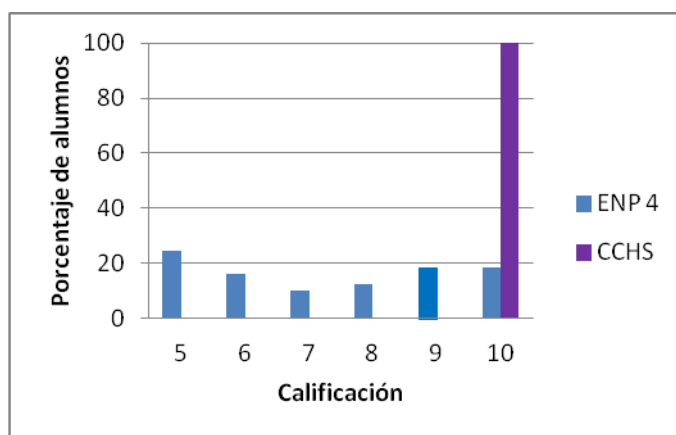


Observaciones: Más del 70% de alumnos de los tres grupos no pudieron resolver el ejercicio. Se considera que lo que les causó confusión es que en vez de que se les proporcionaran datos se les mostró una imagen y ellos tenían que definir que color veían para establecer la longitud de la onda electromagnética.

De este resultado se puede sugerir que los alumnos no han desarrollado la capacidad de extraer información no evidente, lo cual está en concordancia con los resultados de evaluaciones de logro escolar publicados por el INEE en los cuales para la competencia en ciencias de alumnos de bachillerato privado se tiene una media de 483 puntos, lo cual los ubica en el nivel 2 de 6 e indica que sus razonamientos son directos y sus interpretaciones son literales.³⁷

8- Justifica si el magma emite o no radiación electromagnética

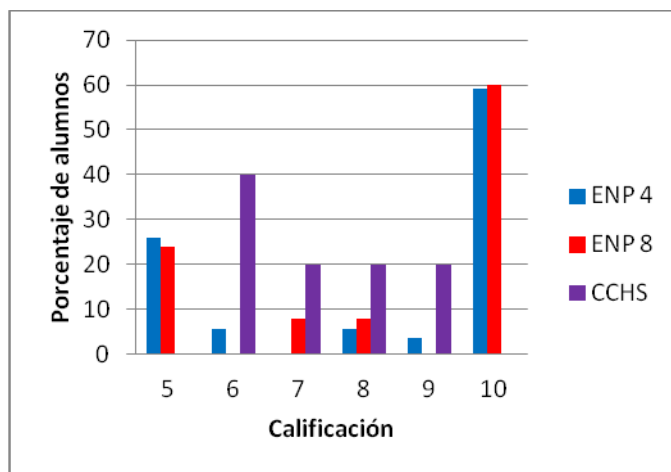
ENP 8: No considerada en la implementación, fue producto del ajuste de secuencia didáctica para la segunda implementación.



Observaciones: Los resultados de CCH Sur se encuentran totalmente sesgados, los alumnos proporcionaron respuestas cortas, concretas y correctas que en la mayoría de los casos parecen ser parafraseadas unas de las otras, siendo posible que estos alumnos hayan trabajado de forma grupal para después adaptar la respuesta al trabajo de cada uno de los equipos. Por otro lado, de los resultados del grupo de ENP 4 se puede decir que se observa una cierta dificultad para explicar la interacción de un conjunto de conceptos físicos (temperatura – radiación electromagnética – color).

³⁷ *Ibid* 36

9- Ejecuta la simulación "Color Vision" y explica por qué si se proyecta luz blanca sobre el filtro rojo la persona percibe la luz de color rojo



Observaciones: Casi el 60% de los alumnos de ENP respondieron correctamente, lo cual sugiere que una vez que han entendido un concepto físico de forma puntual como se vio con el caso del color en la pregunta 4, no tienen dificultades en profundizarlo un poco más tal como se aprecia en esta pregunta al incorporar el efecto de los filtros en el color. Adicionalmente, en los tres grupos los alumnos expresaron además que les gustó la actividad y que les pareció interesante la interacción con el simulador computacional.

Comentario general

La aplicación de esta estrategia representa en parte, una inversión de tiempo que es utilizado para intentar interesar y motivar a los alumnos del nivel medio superior por los temas de física. Lo anterior implica que se cumplieron los objetivos de aprendizaje comenzando a través de las áreas de aplicación en los cuales se planteó el uso y clasificación de los conceptos relativos a las ondas mecánicas y electromagnéticas, los alumnos además trabajaron en temas actuales de la física como lo son las ondas gravitacionales, la luz y los agujeros negros, logrando que se interesaran por la materia.

Por esta causa, y tomando en cuenta su valor motivacional, se considera que, si bien se trata de una estrategia exitosa, no es recomendable su implementación en todos los temas del curso porque consume mucho tiempo; pudiendo ser enfocada en los temas en los que los alumnos muestran un cierto grado de apatía o en aquellos grupos en los que se observe un desinterés generalizado por la materia.

Lo anterior no se opone a los supuestos de inicio que se orientan hacia generación de motivación e interés en los alumnos por la física, y aunque en este sentido la propuesta es exitosa, por cuestiones de tiempo resulta materialmente complicado para un docente implementarla en todos los temas de un curso, por lo cual cabría la posibilidad de sugerir una sintetización de las planes de estudio a fin de que este tipo de estrategias se puedan aplicar satisfactoriamente a lo largo de un curso completo.

Los alumnos respondieron bien a las implementaciones, observándose un progreso en los conocimientos de física a nivel conceptual, que es en los que se considera deben enfocarse las implementaciones de esta estrategia en el nivel medio superior. Por otro lado, se encuentra que muestran un cierto grado de deficiencia en las habilidades para resolver problemas, que de acuerdo con la literatura es un fenómeno que presenta la mayoría de los adolescentes a nivel internacional y que se encuentra fuera del alcance de esta estrategia.

Es necesario mencionar también que para los alumnos aparentemente tienen más peso en sus conocimientos e interpretaciones los datos que reciben a través de los medios de información masiva que los documentos de divulgación científica proporcionados en clase. Esto los lleva a afirmaciones equívocas ya que suelen repetir lo que circula en los medios, en vez de reflexionar en las preguntas con la información que poseen. Esto puede verse claramente en lo relacionado con sonidos del universo.

Por otro lado, aunque frecuentemente se asocian los malos resultados de los alumnos en el área de la física con escasez de antecedentes matemáticos, de los resultados se infiere que los alumnos cuentan con las habilidades operacionales necesarias que requieren los temarios de física. La dificultad es que no pueden transferir los conocimientos matemáticos a la física y de alguna manera esperan que el profesor de física les enseñe las matemáticas exclusivas de esta asignatura.

Esto se ve reflejado en la incapacidad de resolver problemas de física, donde esperan que la ecuación sea dada y hacer una simple sustitución de datos evidentes. El manejo matemático por parte de los alumnos no refleja un acto creativo de indagación y descubrimiento relacionable con las ciencias, sino que se limita a ser un acto de repetición algorítmica carente de sentido. Esto concuerda con los análisis publicados por INEE del año 2012 según el cual “en los niveles altos (4 a 6) se concentra el 13 % de los estudiantes quienes son capaces de seleccionar e integrar diferentes representaciones”. Esto contrasta con la media de los bachilleratos privado y general que en la competencia de matemáticas alcanzan los 485 puntos, lo cual los ubica en el nivel 3 que establece que los alumnos son capaces de desarrollar procedimientos *sin lograr interpretaciones* que les permitan seleccionar y aplicar estrategias para la solución de problemas.³⁸

Finalmente, se resalta que las muestras de alumnos tienen dificultades con el uso de la calculadora y manejo de notación científica, así como también con la obtención de información de gráficas o figuras, tema de investigación actual conocido como cambio representacional. Pareciera también que prefieren no contestar a dar una respuesta incorrecta, lo que abre otro campo de investigación relacionado con el ambiente de aula.

³⁸ *Ibid* 36

Reflexión final

La enseñanza de la física en el nivel medio superior representa un triple desafío para el docente, por una parte la mayoría de los estudiantes se encuentran en proceso de transición hacia el pensamiento formal; llegan además a las aulas con estructuras de pensamiento previas moldeadas por los medios de comunicación masiva y las películas; finalmente, y posiblemente más importante aún, la asignatura de física no es una isla dentro de los currículos de bachillerato y tal como se encontró a lo largo de las implementaciones, el progreso en la enseñanza de esta rama del conocimiento depende también de las aptitudes y actitudes que los alumnos adquieren en otras materias, principalmente en lo referente a la buena comprensión de lectura y la transferencia de habilidades matemáticas hacia las ciencias.

En este sentido, la estrategia que se propone puede ser de mucha utilidad en cuanto a la generación de motivación e interés por la materia y para propiciar principalmente aprendizajes de física a nivel conceptual. Con la intención de promover un beneficio mayor, sugeriría que los currículos de física del nivel bachillerato tuvieran más aplicaciones reales, lo que podría considerarse como un acercamiento a la corriente STEM, y en la medida de lo posible se promueva la enseñanza de física conceptual en el tronco común, utilizando un mínimo de operaciones matemáticas, las cuales en este nivel se manejan muchas veces como meros algoritmos para sustituciones numéricas carentes de significado.

Por otro lado, para los alumnos de nivel bachillerato orientados hacia la rama de las ciencias físico matemáticas, considero que la estrategia propuesta es de utilidad para reforzar conceptos físicos y conocer otros nuevos, sin embargo a mi parecer, en ese punto de su formación se hace imprescindible incorporar la enseñanza de solución no algorítmica de problemas.

Finalmente, subrayo que desde mi perspectiva, el factor motivacional se encuentra muy ligado a la realidad cotidiana y a la aplicación práctica, por lo cual considero que la estrategia propuesta es perfectible si se incorporan actividades de laboratorio y se usan más simuladores computacionales.

Referencias

- Anderson, A. & Hamilton, R. J. & Hattie, J. (2004). Classroom climate and motivated behaviour in secondary schools. *Learning Environments Research*, 7, 211-225.
- Anderson, L. W. & Krathwol, D. R. (2001). *A taxonomy for learning teaching and assessing*. U.S.A.: Pearson Education.
- Caeiro, M. (2019, septiembre). Recreando la taxonomía de Bloom para niños artistas. *Hacia una educación artística metacognitiva, metaemotiva y metaafectiva*. *ArtsEduca*, 24, 65-84
- Calvo, M. A. (2012). Libros y revistas de divulgación científica como recursos de enseñanza de la física y la química. *Enseñanza y divulgación de la física y la química*, Ibergarceta Publicaciones (Pinto & Martín editores), 125-134.
- Camaaño, A. (2013, abril). Hacer unidades didácticas: una tarea fundamental en la planificación de las clases de ciencias. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 74, 5-11.
- Collazos, C. A. & Guerrero, L. & Vergara, A. (2001, noviembre). Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor. *Proceedings of the 3rd Workshop on Education on Computing*, Punta Arenas, Chile, 1-10.
- Deemer, E.D. & Smith, J. L. (2017, octubre). Motivational climates: assessing and testing how science classroom environments contribute to undergraduates' self-determined and achievement-based science goals. *Learning Environments Research (Springer)*, 21, 245-266.
- Díaz-Barriga, A. (N/D). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. 04 de junio de 2022, de Universidad Autónoma Metropolitana Sitio web: http://envia3.xoc.uam.mx/envia-2-7/beta/uploads/recursos/xYYzPtXmGJ7hZ9Ze_Guia_secuencias_didacticas_Angel_Diaz.pdf
- Duchesne, R. (2020, mayo). Jean Piaget and european formal operation cognition . *The Occidental Quarterly*, 20, 15-56.
- Eggen, P. & Kauchak, D. P. (2012). *Estrategias Docentes*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Escobar-Ortiz, J. M. & Rincón-Álvarez, A. (2018, diciembre). La divulgación científica y sus modelos comunicativos: algunas reflexiones teóricas para la enseñanza de las ciencias. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 10(1), 135-154.
- Escudero, C. & Montero, A. & Nájera, J.J. (2013, septiembre). No es nada personal, solo negocios: factores moderadores de la relación entre el conflicto cognitivo y el conflicto afectivo en la toma de decisiones estratégicas. *XXIII Congreso Nacional de ACEDE*, Málaga, 1-32.
- Flavell, J. H. & Miller, P. H. & Miller, S. A. (2002). *Cognitive Development*. New Jersey: Prentice Hall.

García-Molina, R. (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. *Eureka*, Número extraordinario, 370-392.

Gutiérrez, R. (2014, octubre). El Modelo Ausubel. Seminario de Investigación, Universidad Pedagógica Nacional, Semana Nacional de Ciencia y Tecnología, 1-20.

Guzmán, C. & Serrano, O. V. (2007). ¿A quiénes atiende el bachillerato de la UNAM? Un análisis de los cambios en la composición social de los estudiantes de 1985 a 2003. *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 37, 123-170.

Hernández, P. (2007). *Diseñar y enseñar: teoría y técnica de la programación y del proyecto docente*. España: Narcea.

Medrano, C. (1995, mayo-agosto). La interacción entre compañeros: El conflicto sociocognitivo, el aprendizaje cooperativo y la tutoría entre iguales. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 23, 177-186.

Michel, B. & García, M. (2014). *La Ciencia en Nuestras Manos*. México: Texere Editores

Molina, L.M. & Rada, K. J. (2013, julio-diciembre). Relación entre el nivel de pensamiento formal y el rendimiento académico en matemáticas. *Zona Próxima*, 19, 63-72.

Moreira M. A. J. & Greca, I. M. & Rodríguez, M. L. (2011, noviembre). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Investigaçã em Educação em Ciências*, 2(3), 84-96.

Kedrayate, A. (1997). The conceptualisation of non-formal education. *Journal of Educational Studies*, 19(1), 31-41.

Palacios, S. (2007). El cine y la literatura de ciencia ficción como herramientas didácticas en la enseñanza de la física: Una experiencia en el aula. *Eureka*, 4, 106-122.

Pastor, M. I. (2001, septiembre-diciembre). Orígenes y evolución del concepto de educación no formal. *Revista española de pedagogía*, 220, 525-544.

Pérez-Manzano, A. & Almela-Baeza, J. (2018). Gamificación transmedia para la divulgación científica y el fomento de vocaciones procientíficas en adolescentes. *Revista Científica de Educomunicación*, 55, 93-103.

Potvin, P. & Hasni, A. (2014, febrero). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50, 85-129.

Redacción Animal Político. (Agosto 05, 2020). El 60.9% de la población en México gana menos de 8 mil pesos al mes: Inegi. Diciembre 05, 2021, de www.animalpolitico.com Sitio web: <https://www.animalpolitico.com/2020/08/inegi-etoe-poblacion-ocupada-salario-minimo/>

Sánchez, A. M. (2010). Introducción a la comunicación escrita de la ciencia. México: Universidad Veracruzana.

Schafersman, D. (1991). An introduction to critical thinking. 03 de junio de 2022, de Smartcollegeplanning.org Sitio web: <https://www.smartcollegeplanning.org/wp-content/uploads/2010/03/Critical-Thinking.pdf>

Sears & Zemansky. (2009). Física Universitaria Vol I y II. México: Addison-Wesley.

Serna, E. & Flórez, G. (2013, agosto). El Razonamiento Lógico como Requisito Funcional en Ingeniería. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013), Cancún, México, 1-10.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). Programas de Estudio Área de Ciencias Experimentales Física I-II. Diciembre 05, 2021, de CCH UNAM Sitio web: https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/FISICA_I_II.pdf

Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). Plan de estudios Física IV. Diciembre 05, 2021, de ENP 2 Sitio web: http://www.prepa2.unam.mx/docs/Academia/PlanesEstudio/SextoGrado/Analitico/1611_fisica4_area_1.pdf

Universidad Nacional Autónoma de México. (2020). Perfil de aspirantes y asignados a bachillerato y licenciatura. Diciembre 05, 2021, de Coordinación General de Planeación y Simplificación de la Gestión Institucional Sitio web: <https://www.planeacion.unam.mx/ee/Publicaciones/pdf/perfiles/aspirantes/asp2019-2020.pdf>

Varela, M, & Martínez, J.. (2005). "Jugando" a divulgar física con juguetes. Eureka, 2, 234-240.

White-McNulty, L. (2012). Motivation and the Learning Environment. Hong Kong: The Open University of Hong Kong.

Anexos

Anexo 1: Rúbricas de evaluación

Cuadro sinóptico:

Valoración	5	6-7	8-9	10
Elementos propios del cuadro sinóptico	No hay jerarquización ni coherencia de las ideas principales con las secundarias	Las ideas principales se organizaron de forma jerárquica, sin embargo no hay coherencia con las ideas secundarias	Se realizó una correcta organización jerárquica, las ideas principales, las ideas secundarias son medianamente coherentes con las ideas principales	Las ideas están jerárquicamente organizadas, éstas se interrelacionan coherentemente con las ideas secundarias y el contenido es congruente con el título
Aclaración del tema	Cuadro sinóptico impreciso, no hay coherencia entre las partes que lo componen	El contenido del cuadro sinóptico está medianamente enfocado aunque con la información desorganizada	El contenido del cuadro sinóptico está bien enfocado aunque la información no está completamente organizada	El cuadro sinóptico presenta un buen enfoque y una buena organización de información estructurada
Profundización del tema	Descripción incorrecta del tema, sin detalles significativos	Descripción ambigua del tema, contiene algunos detalles que no lo clarifican	Descripción incompleta del tema, contiene algunos detalles que no lo clarifican en su totalidad	Descripción clara y sustancial del tema, buena calidad de detalles
Diseño del cuadro sinóptico	Cuadro sinóptico mal planteado y evidentemente desorganizado	Cuadro sinóptico medianamente organizado aunque simple	Cuadro sinóptico bien organizado aunque el diseño no es atractivo a la lectura	Cuadro sinóptico sobresaliente, bien organizado y con un diseño atractivo a la vista

Cuadro comparativo:

Valoración	5	6-7	8-9	10
Establece los elementos y características a comparar	No enuncia los elementos ni las características a comparar	Faltan algunos elementos esenciales para la comparación, sin embargo las características son mínimas	Incluye la mayoría de los elementos que deben ser comparados. Las características son suficientes para realizar una buena comparación	Identifica todos los elementos de comparación. Las características elegidas son suficientes y pertinentes
Identifica las semejanzas y diferencias	No identifica las semejanzas y diferencias de los elementos comparados	Identifica varias de las semejanzas y diferencias entre los elementos comparados	Identifica la mayor parte de las semejanzas y diferencias entre los elementos comparados	Identifica de manera clara y precisa las semejanzas y diferencias entre los elementos comparados
Representación esquemática de la información	El organizador gráfico no representa esquemáticamente los elementos a los que hace alusión el tema	El organizador gráfico elaborado representa los elementos solicitados aunque no es del todo claro y preciso	El organizador gráfico que construye representa los elementos con cierta claridad y precisión	El organizador gráfico presenta los elementos centrales y sus relaciones de forma clara y precisa
Presentación, organización y ortografía	El cuadro es simple, no es atractivo a la vista. Tiene más de cinco errores ortográficos	El cuadro tiene algunos elementos que lo hacen atractivo a la vista. Tiene más de tres errores ortográfico	El cuadro tiene varios elementos que lo hacen atractivo a la vista, tiene al menos un error ortográfico	El cuadro en su conjunto llama la atención y la información es atractiva a la vista. No contiene error ortográfico alguno

Preguntas conceptuales:

Valoración	5	6-7	8-9	10
Profundización	Consulta una única fuente de información no confiable	Consulta una única fuente de información confiable	Consulta varias fuentes de información aunque alguna es no confiable	Consulta varias fuentes de información, todas confiables
Relevancia	Ninguna de sus argumentaciones es relevante	Alguno de los puntos que argumenta es relevante	La mayor parte de los puntos que argumenta son relevantes	Todos los puntos que argumenta son relevantes
Calidad	La respuesta que proporciona no contesta a la pregunta	La respuesta que proporciona contesta la pregunta de forma aproximada	La respuesta proporcionada contesta a la pregunta aunque no considera todas las posibilidades	La respuesta contesta a la pregunta y también proporciona alternativas
Claridad	Ningún dato está reflejado de forma clara dificultando la lectura de estos	Algún dato está reflejado de forma clara aunque no es suficiente para permitir una lectura sencilla de estos	La mayor parte de los datos están reflejados de forma clara, aunque alguno no permite una lectura sencilla de éstos	Todos los datos están reflejados de forma clara, permitiendo una lectura directa y sencilla de estos

Ejercicios numéricos:

Valoración	5	6-7	8-9	10
Orden y organización	El procedimiento se ve descuidado y desorganizado, es difícil identificar la secuencia	El procedimiento se presenta de una forma organizada pero es difícil de leer	El procedimiento se presenta de forma organizada y ordenada por lo que en general es fácil de leer	El procedimiento se presenta de forma clara, ordenada y organizada por lo que es fácil de leer
Estrategias y procedimientos	No se identifica el uso de una estrategia para resolver problemas	Se puede identificar que intentó ubicar una estrategia sin llegar a concretarla	Se identifica el uso de una estrategia para resolver problemas	Se identifica claramente el uso de una estrategia clara y efectiva para solucionar el problema
Diagramas y dibujos	No se utilizaron diagramas o dibujos o son difíciles de entender	Los diagramas y dibujos son algo difíciles de entender	Los diagramas y dibujos son claros y fáciles de entender	Los diagramas y dibujos son claros, fáciles de entender y ayudan al entendimiento de los procedimientos empleados
Conceptos matemáticos	Demuestra un conocimiento limitado de los conceptos necesarios para resolver el problema	Se demuestra conocimiento de algún concepto matemático para resolver el problema	El procedimiento demuestra conocimiento suficiente de los conceptos matemáticos necesarios para resolver el problema	El procedimiento demuestra conocimiento completo de todos los conceptos matemáticos necesarios para resolver el problema

Anexo 2: Evaluación diagnóstica

Sesión 1 – Evaluación diagnóstica Nombre: _____

1. ¿Te gusta leer?
2. ¿Qué libros has leído últimamente?
- 3- ¿Consideras que entiendes lo que lees?
- 4- ¿Cuál es la materia del bachillerato que más te ha gustado?
- 5- ¿Qué licenciatura piensas cursar?
- 6- ¿Tienes algún familiar que haya estudiado ciencias o ingeniería?
- 7- ¿Consideras que estudiar Física te puede servir para algo en la vida?
- 8- ¿Qué temas de Física te gustaría que se vieran en clase?
- 9- ¿Te interesas por los nuevos descubrimientos científicos?
- 10- ¿Te gusta estudiar solo(a) o en equipo, y por qué?
- 11- Si en este preciso momento estuvieras en el espacio, sin traje espacial ni nave, ¿Qué piensas que le sucedería a tu cuerpo y por qué?
- 12- ¿Recuerdas que unidades tiene la Energía en el sistema internacional?, ¿Crees que se podría expresar en esas unidades el aporte energético de los alimentos que consumes?
- 13- ¿Alguna vez has soltado un objeto y éste se ha quedado suspendido en el aire durante una fracción de segundo antes de caer?, en caso de que te haya sucedido, ¿A qué crees que se debe?
- 14- ¿Conoces lo que es un agujero negro?, proporciona una breve explicación
- 15- ¿Qué opinión tienes del video que se te pidió que observaras? ¿Consideras que los agujeros negros son un tema actual?
- 16- Factoriza la siguiente ecuación:
$$6x^2 + 7x = -2$$
- 17- Encuentra la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:
$$x - 2y = -4$$
$$3x + y - 9 = 0$$

Anexo 3: Lectura

Alcubierre, M. (2002, Julio). Los agujeros negros. *¿Cómo ves?*, 44, 10-17.



Los agujeros negros

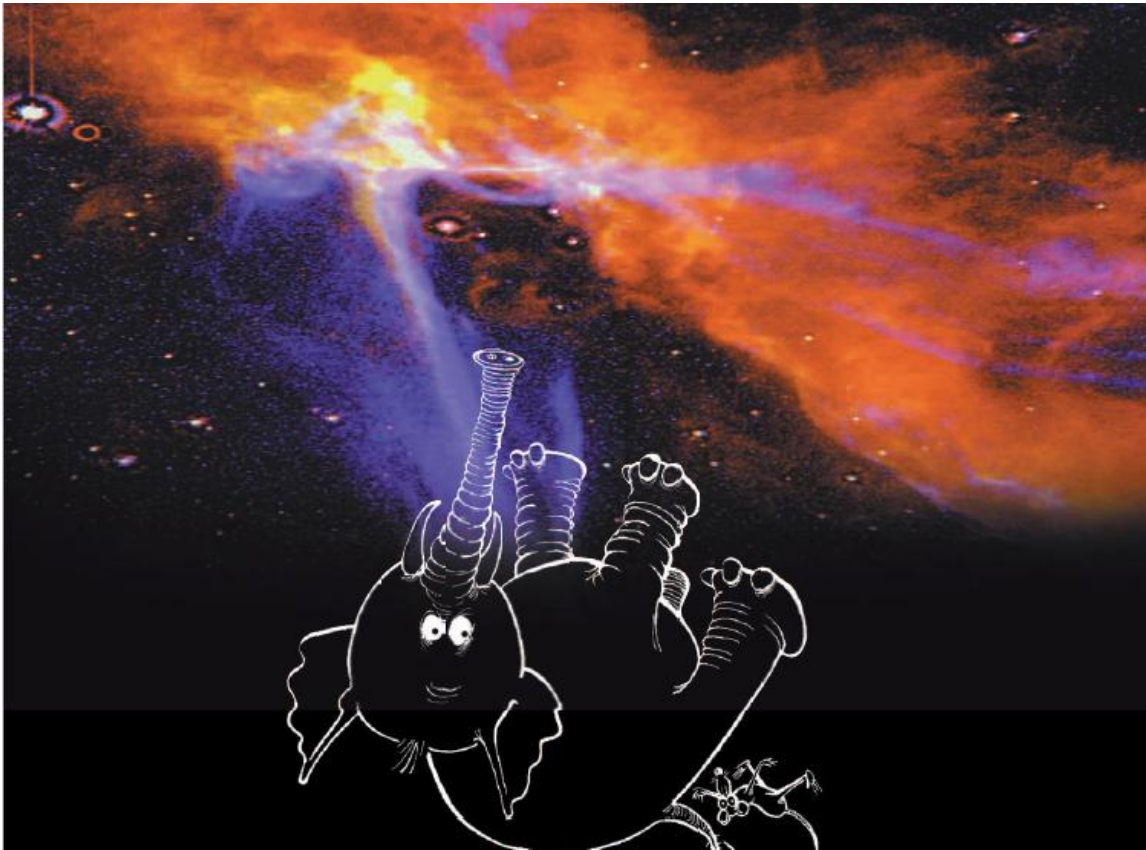
Miguel Alcubierre

Lo que pasaría si viajaras a uno de estos objetos, los más extraños del cosmos.

“TODO LO QUE SUBE tiene que bajar”, dice el dicho. En efecto, en la vida cotidiana, si lanzamos un objeto al aire, éste siempre vuelve a caer. Una pelota lanzada hacia arriba llega hasta cierta altura, generalmente no muy grande, y regresa. Una bala sube mucho más alto, y luego vuelve a caer (cosa en la que parecen no pensar quienes disparan balas al aire en ciertas fiestas; la bala que cae de regreso puede fácilmente matar a alguien).

Quizá debería añadirse al dicho que mientras más rápido se lance el objeto al aire, más alto llegará y más tiempo tardará en caer. Esta observación nos lleva inmediatamente a la siguiente pregunta: ¿será posible lanzar un objeto tan rápido que no caiga nunca?

¿cómo ves?
10



La respuesta a esta pregunta es un simple sí. La velocidad a la que se debe lanzar un objeto para que no vuelva a caer se conoce como velocidad de escape (véase recuadro) y depende de dónde te encuentres: es menor en la Luna que en la Tierra, y menor en la Tierra que en el Sol. La velocidad de escape de un cuerpo celeste (un planeta o una estrella, digamos) está determinada por dos características del cuerpo celeste: su masa y su tamaño (medido por su radio). Dados varios cuerpos del mismo radio, el de mayor masa tendrá la mayor velocidad de escape; dados varios cuerpos de la misma masa, el de menor radio tendrá la mayor velocidad de escape. En el caso de la Tierra, la velocidad de escape resulta ser de aproximadamente 11 kilómetros por segundo (unos 40 000 kilómetros por hora). Esto significa que si quisieras lanzar una piedra (o un elefante, da lo mismo) de un solo impulso sin que volviera a caer, tendrías que darle una

velocidad inicial de 40 000 kilómetros por hora.

Es muy importante decir que una nave espacial, o cualquier objeto con propulsión propia —por ejemplo, una persona subiendo una escalera hasta la Luna o un caracol trepando por una pared suficientemente elevada—, no necesitaría alcanzar la velocidad de escape. La restricción sólo se aplica cuando quieres escapar del objeto celeste de un solo empujón inicial.

Estrellas oscuras

Así, la velocidad de escape depende tanto de la masa del cuerpo celeste como de su tamaño. A fines del siglo XVIII, John Michell, en el Reino Unido, y Pierre Simon de Laplace, en Francia, se preguntaron de qué tamaño tendría que ser una estrella de una masa dada para que su velocidad de escape fuera tan alta que no pudiera escapar de ella ni siquiera la luz, que se propaga

a una velocidad altísima (de cerca de 300 000 kilómetros por segundo). Semejante estrella no emitiría luz y podría llamarse “estrella oscura”.

Michell y Laplace encontraron independientemente una fórmula para el radio que tendría que tener la estrella para no dejar escapar la luz (véase recuadro), valor que se conoce como *radio gravitacional*. El radio gravitacional es distinto para cada cuerpo y depende sólo de la masa de éste. Y por cierto, el cuerpo no tiene que ser una estrella: puede ser cualquier cosa, desde un planeta hasta una taza de café.

Con la fórmula del radio gravitacional de Michell y Laplace se pueden hacer cálculos muy divertidos. Por ejemplo, una taza de café de 500 gramos tendría que reducirse a una bolita de una cuatrillonésima de milímetro (un 1 colocado después de 23



Ilustraciones: Rajni Diego / Fotos: Cortesía NASA

¿cómo? ■



ceros a la derecha del punto decimal) para convertirse en una estrella oscura. Este tamaño es tan pequeño comparado con el núcleo de un átomo como el núcleo comparado con, digamos, la taza original.

Para objetos celestes comunes (planetas, estrellas...), el radio gravitacional es siempre mucho más pequeño que su tamaño real. Por ejemplo, para convertir a la Tierra en una estrella oscura sería necesario comprimir toda su masa en una esfera de aproximadamente un centímetro de radio. En el caso del Sol, sería necesario concentrar su masa en una esfera con un radio de unos tres kilómetros.

Agujeros negros

Las estrellas oscuras se consideraron sólo como una curiosidad matemática que no correspondía a ningún objeto real, hasta que, a fines de 1915, Albert Einstein publicó la teoría general de la relatividad, una teoría moderna de la gravitación que reemplazó a la famosa gravitación universal de Newton (aunque esta última se sigue usando, por ejemplo, para mandar naves al espacio). Pocas semanas después de que Einstein



Velocidad de escape

Estar en el campo gravitacional de un planeta es como estar en un pozo. Para salir necesitas hacer esfuerzo —brincar, trepar por una cuerda—, es decir, necesitas invertir energía. La energía que tienes que pagar para escapar de la superficie de un cuerpo esférico de radio R y masa M es la energía potencial gravitacional:

$$E_p = \frac{GMm}{R}$$

donde m es tu propia masa y G es la constante de gravitación universal.

¿Cómo pagas esa energía? Si quieres pagar de contado, lo mejor es hacerlo con energía de movimiento o cinética, es decir, adquiriendo cierta velocidad V hacia arriba. La energía cinética de un cuerpo con masa m y velocidad V es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Lo que necesitas para escapar del pozo gravitacional es adquirir una energía cinética inicial igual al costo en energía potencial, o sea

$$E_c = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{R}$$

donde V_e será la velocidad de escape. Despejando V_e

$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

postulara su teoría, Karl Schwarzschild la aplicó al campo gravitacional que produce un objeto esférico (por ejemplo, un planeta, una estrella, o una canica). Con el cálculo relativista de Schwarzschild se puede deducir una nueva fórmula para el radio gravitacional, pero ahora desde el punto de vista de la teoría de Einstein. Pues bien, resulta que la expresión matemática que se obtiene con la teoría de Einstein es exactamente igual a la que se obtiene con la de Newton.

Pero ahí termina el parecido entre ambas teorías. En la teoría de Newton, la luz que sale de la superficie de una estrella oscura subiría hasta cierta altura y luego volvería a caer, igual que una piedra. Pero en la teoría de Einstein la luz simplemente se queda atrapada en el radio gravitacional y no sale nunca. Esto tiene consecuencias sorprendentes. En la teoría de la relatividad la velocidad de la luz es la máxima posible en el Universo: nada puede viajar más rápido. Si la luz se

V_e es la velocidad necesaria para escapar de un solo impulso de un planeta o de una estrella de masa M y radio R . Observa que la masa m del objeto que escapa no aparece en esta fórmula: la velocidad de escape es igual para una piedra, un ratón o un elefante.

Por ejemplo, para calcular la velocidad de escape de la Tierra solo hay que sustituir en esta fórmula los valores de la masa y el radio de nuestro planeta

$$M = 5.9 \text{ billones de billones de kilogramos} \\ = 5.9 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R = 6.4 \text{ millones de metros} \\ = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$G = 6.6 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$V_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.6 \times 10^{-11} \times 5.9 \times 10^{24} \text{ kg}}{6.4 \times 10^6}} \\ = 11\,031 \text{ metros por segundo} \\ = 11 \text{ kilómetros por segundo}$$

queda atrapada en el radio gravitacional entonces la materia no sólo no puede salir, sino que tiene por fuerza que moverse hacia abajo, hacia el centro de la estrella oscura. Esto implica, por extraño que parezca, que la estrella oscura no puede



si uno se aproxima mucho, a distancias cercanas al radio gravitacional. En el caso del Sol tendrías que acercarte a unos tres kilómetros, pero no a tres kilómetros de la superficie actual del Sol, sino a tres kilómetros del centro del Sol si toda su masa estuviera concentrada en un punto.

Un agujero negro es mucho más que un simple hueco en el espacio. En su interior las propiedades del espacio y del tiempo se alteran de maneras insólitas. La frontera del agujero negro está marcada por su radio gravitacional, también conocido como el *horizonte de eventos*.

Para entender lo que ocurre en el interior del agujero negro, imagínate que te acercas en una nave espacial y que un amigo te observa con un telescopio desde una distancia prudente.

A medida que te aproximas al horizonte de eventos tú no notarás nada especial, pero tu amigo verá que el tiempo en tu nave transcurre cada vez más lentamente. Si, por ejemplo, tu amigo pudiera verte por televisión, notaría que todo en la nave sucede como en cámara lenta. Este fenómeno se conoce como dilatación gravitacional del tiempo y ocurre de forma modesta en cualquier campo gravitacional.

tener una superficie material. En la vieja teoría de Newton, en cambio, nada impide que la estrella, por más comprimida que esté, tenga una superficie material.

En la teoría general de la relatividad el radio gravitacional marca la frontera de una región sin retorno: si te encuentras afuera, siempre puedes escapar con una nave lo suficientemente potente. Pero si estás adentro, escapar es imposible y caerás inevitablemente hacia el centro. Un objeto con estas propiedades no es ya la relativamente inofensiva estrella oscura de *Michell* y *Laplace*, sino una especie de agujero en el espacio, del que, una vez dentro, resulta imposible salir. En la década de los 60 el físico estadounidense *John A. Wheeler* llamó a estos extraños objetos agujeros negros.

Torciendo el tiempo y el espacio

Antes de seguir adelante me gustaría disipar un error conceptual muy común acerca de los agujeros negros: pese a lo que hemos visto en incontables películas, los agujeros negros no son de ninguna manera aspiradoras cósmicas que se tragan todo lo

Radio gravitacional

La velocidad de escape es función de la masa y el radio del cuerpo del que se quiere escapar. Dada una masa *M* y una velocidad *V*, podríamos calcular qué radio debe tener el cuerpo para que *V* sea su velocidad de escape. Despejando de la fórmula para la velocidad de escape

$$R = \frac{2GM}{V^2}$$

Un agujero negro es un objeto cuya velocidad de escape es la velocidad de la luz, *c* (*c* = 300 000 km/s aprox.) El radio que debe tener un objeto de masa *M* para ser un agujero negro (o sea su radio gravitacional) es

$$R_g = \frac{2GM}{c^2}$$

que se les acerca. Si en este momento el Sol se convirtiera en un agujero negro (es decir, si se comprimiera hasta alcanzar su radio gravitacional), no notaríamos ningún cambio (fuera de que nos daría mucho frío y estaría muy oscuro). La Tierra seguiría en su órbita tan campante, sin alterarse. Los agujeros negros sólo resultan peligrosos

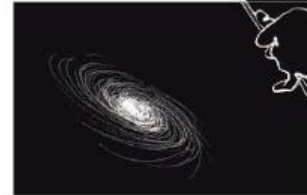
La dilatación gravitacional del tiempo se ha medido incluso en la Tierra utilizando relojes atómicos, pero el efecto es imperceptible en la vida diaria porque el campo gravitacional terrestre es simplemente muy débil. Cerca de un agujero negro, sin embargo, el efecto es tan grande, que cuando llegas al horizonte de eventos tu amigo



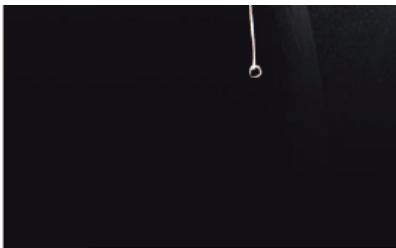
¿cómo ves?



el tiempo deja de transcurrir para ti al llegar al horizonte, desde tu punto de vista no ocurre así. De hecho, tú no notas nada especial al llegar al horizonte y lo cruzas como si nada. Una vez dentro, sin embargo, observarás (quizá con cierta preocupación que pronto se convertirá en terror) que no importa qué potencia apliques a los motores de la nave, no puedes evitar acercarte más y más al centro del agujero negro. Dentro del agujero negro la estructura del espacio y el tiempo se altera de una manera difícil de creer (y de imaginar): espacio y tiempo intercambian papeles, de modo que el transcurrir del tiempo resulta equivalente a moverse en el espacio. La única dirección posible en el interior de un agujero negro es hacia el centro. No hay fuerza en la naturaleza capaz de detener el paso del tiempo, y por lo mismo ninguna nave espacial, por más potente que sea, puede evitar caer al centro



a la singularidad con vida. Antes de llegar, las llamadas fuerzas de marea, que son la diferencia del campo gravitacional entre un punto y otro, te despedazarían al jalarte con mucho más fuerza los pies que la cabeza (véase recuadro). Tú y tu nave quedarían convertidos en un enjambre de partículas elementales, al partirse en pedazos que a su vez se parten en pedazos que se parten en pedazos... que finalmente chocarían con la singularidad.



ve que el tiempo en tu nave se detiene por completo. Vistas las cosas desde lejos, tu nave se queda congelada para siempre en el umbral del agujero negro, sin entrar. Esta propiedad de los agujeros negros fue una de las primeras en descubrirse y llevó a los científicos de la primera mitad del siglo XX a llamar a estos objetos estrellas congeladas, pues pensaban que si el tiempo no transcurría visto desde fuera, no había nada más que discutir.

Pero como se supo después, la historia no termina ahí. Si bien es cierto que tu amigo, que se encuentra a una distancia conveniente del agujero negro, ve que

del agujero negro una vez que ha cruzado el horizonte de eventos.

Si entonces miraras hacia atrás, verías desarrollarse ante ti todo el futuro del Universo en cámara super rápida: el Sol se apaga, la vida en la Tierra desaparece y el Universo muere en un instante. Ya no puedes enviar ningún mensaje a tu amigo pues ya no hay amigo a quien enviarlo. Al cruzar el horizonte te desconectas por completo y para siempre del Universo exterior. Por eso la frontera del agujero negro se conoce como horizonte de eventos: ningún evento que ocurra en el interior, por más violento que sea, puede afectar al exterior.

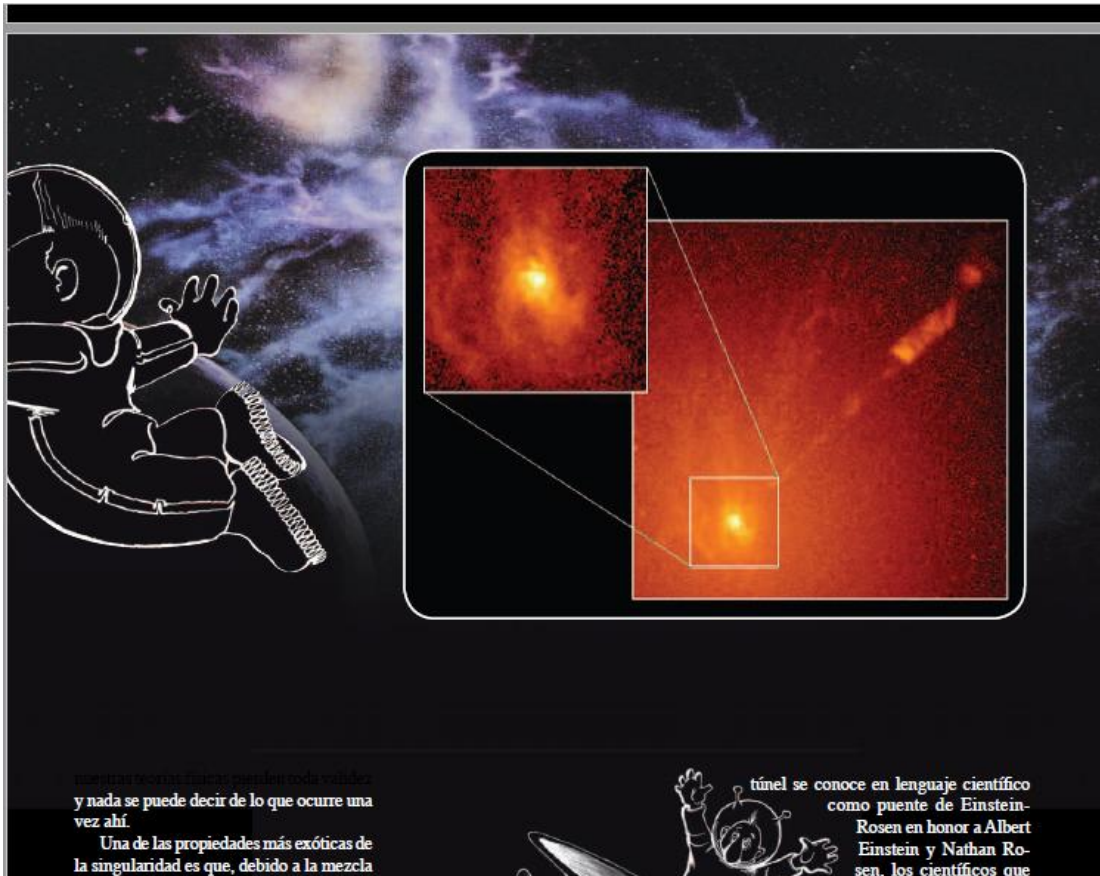
Triste final del explorador de agujeros negros

Si el transcurrir del tiempo te lleva irremediablemente al centro, la siguiente pregunta que se te puede ocurrir es: ¿qué ocurre al llegar al centro? En el centro del agujero negro se encuentra lo que los científicos llaman una singularidad, un punto del espacio-tiempo donde los campos gravitacionales se vuelven infinitos y la física ya no es válida. Pero tú no llegarías

Lo peligroso de acercarse a un agujero negro son las fuerzas de marea y la intensidad de éstas depende de la masa del agujero negro. Las fuerzas de marea son infinitas al llegar a la singularidad en cualquier agujero negro, pero la distancia a la que se vuelven peligrosas puede variar enormemente de uno a otro. Para un agujero negro con masa igual a la del Sol, las fuerzas de marea en la región cercana al horizonte de eventos son gigantescas. Pero, contra lo que podría esperarse, los agujeros negros de masa mucho mayor —como los que existen, según se cree, en el centro de casi todas las galaxias (con masas millones de veces mayores que la del Sol)—, tienen horizontes de eventos donde las fuerzas de marea son muy pequeñas. Si cruzáramos el horizonte de uno de estos monstruos no notaríamos nada, y tardaríamos varios días en caer hasta el centro.

Lo demás es silencio

¿Y después de la singularidad qué? Pues después, nada. La singularidad marca la frontera donde terminan el espacio y el tiempo, o si se prefiere, el punto donde



y nada se puede decir de lo que ocurre una vez ahí.

Una de las propiedades más exóticas de la singularidad es que, debido a la mezcla



túnel se conoce en lenguaje científico como puente de Einstein-Rosen en honor a Albert Einstein y Nathan Rosen, los científicos que

entre espacio y tiempo que ocurre dentro del horizonte, la singularidad no es un punto en el espacio, sino más bien un instante en el tiempo. Una vez que hemos cruzado el horizonte de eventos del agujero negro, la singularidad no es un lugar adonde llegar, sino un tiempo en nuestro futuro: predeterminado e irremediable.

Túneles a otros universos

Las propiedades extrañas de los agujeros negros no se limitan a la existencia del horizonte de eventos, la mezcla entre espacio y tiempo y la inevitable caída a la singularidad. Ya desde la primera mitad del siglo XX se había descubierto que en el interior del agujero negro debe existir no sólo una singularidad de campos gravitacionales infinitos, sino también un túnel que llevaría, de haberlo, a otro universo. Este

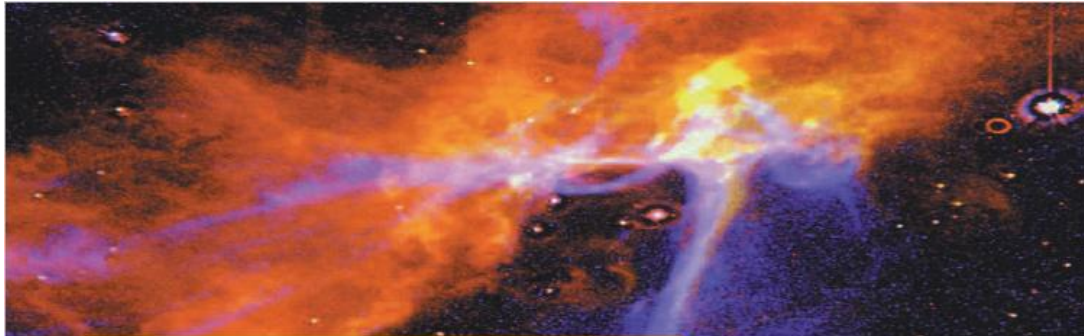


sen, los científicos que dedujeron su existencia por primera vez. En el lenguaje más popular también se le conoce como "agujero de gusano".

El agujero de gusano se supone se encuentra en el interior de un agujero negro sería un puente entre dos universos exteriores distintos (el nuestro y algún otro, digamos), en cada uno de los cuales habría un agujero negro y un horizonte. Sin embargo, este túnel no se puede usar para viajar a otros posibles universos. El túnel aparece y desaparece sólo una vez, y lo hace tan rápido que incluso viajando a la velocidad de la luz (y no se puede ir más rápido) el túnel se cerraría antes de que pudieras atravesarlo. La singularidad del agujero negro puede entenderse también como el resultado del cerrarse del túnel: al derrumbarse éste sobre nosotros, nos veríamos de pronto

¿cómo es?

15



Fuerzas de marea

Si alguna vez has ido a la playa habrás notado cómo el nivel del agua del mar a veces es más alto y otras veces más bajo. Normalmente decimos que hay "marea alta" o "marea baja", dependiendo del nivel al que se encuentre el agua. En algunos lugares del mundo el fenómeno de la marea es tan notorio, que el mar puede alejarse de la playa decenas de metros durante la marea baja, dejando a los botes inclinados sobre el lodo del fondo (en la bahía de Fundy en Nueva Escocia, por ejemplo, el nivel del mar puede variar hasta 15 metros en seis horas).

¿A qué se deben las mareas? Durante siglos los navegantes conocieron e hicieron uso del ritmo de las mareas, sin saber qué las producía. Hasta donde sabemos, el primero en sugerir la explicación correcta fue Johannes Kepler a principios del siglo XVII, cuando las atribuyó a la influencia de la Luna sobre la Tierra. Sin embargo, el mismo Galileo Galilei no pudo aceptar dicha explicación y acusó a Kepler de interesarse en ideas oscurantistas e infantiles al pensar que la Luna tenía algo que ver en el asunto. Pero Kepler tenía razón. Las mareas se deben a la *diferencia* de fuerza con que la Luna atrae un lado de la Tierra y el lado opuesto. La fuerza de gravedad cambia con la distancia; el lado de la Tierra que está más cerca de la Luna siente una fuerza mayor que el lado más lejano. Esta diferencia en la atracción gravitacional de la Luna sobre la Tierra resulta en una fuerza deformante que tiende a dar a la Tierra forma de huevo alargado en la dirección que apunta a la Luna. La superficie terrestre es sólida, por lo que no se deja estirar gran cosa, pero el mar es un líquido, mucho más fácil de deformar. El resultado es que las aguas se abultan en la punta y la base del huevo, por así decir. Al girar la Tierra sobre su eje una vez al día, la parte del mar que mira hacia la Luna cambia constantemente, dando como resultado que el nivel del agua suba y baje. La marea alta ocurre dos veces al día, pues el nivel del agua es más alto tanto en la parte del mar más cercana a la Luna como en la más lejana.

Sin embargo, tener pruebas indirectas de que existen los agujeros negros no es lo mismo que observarlos directamente. Pero, ¿cómo ver un objeto que, como su nombre indica, no emite ningún tipo de luz? Sorprendentemente, existe un método directo para detectar agujeros negros que podría dar fruto en un futuro cercano.

El método consiste en perturbar ligeramente un agujero negro para ver qué le sucede. Un agujero negro en perfecto reposo es esencialmente invisible, pero un agujero negro que ha sido perturbado (por ejemplo, al arrojarle una piedra),

Por su relación con el fenómeno de las mareas, a las fuerzas que resultan de la diferencia en el campo gravitacional en distintos sitios del espacio se les conoce como "fuerzas de marea". En lugares donde el campo gravitacional es muy intenso, las fuerzas de marea también lo son. Cerca del centro de un agujero negro, por ejemplo, las fuerzas de marea son tan intensas que cualquier objeto físico sería estirado hasta despedazarse, convirtiéndose en un enjambre de partículas elementales.

atrapados en una región del espacio-tiempo que desaparece.

Es posible imaginarse agujeros de gusano que no se cierren y que nos permitan llegar a otros universos o a regiones lejanas de nuestro propio Universo en un abrir y cerrar de ojos, pero esa es una historia para otro momento.

Como ver lo invisible

Hasta ahora quizá estés pensando: todo esto de los agujeros negros me resulta muy interesante, pero finalmente, ¿existen estos objetos en el espacio? Las propiedades del espacio-tiempo en el interior de un agujero negro son tan extrañas, que todavía hoy en día hay quien trata de demostrar a toda costa que unos objetos tan absurdos no pueden existir. Su realidad, sin embargo,

es inevitable si la teoría de la relatividad es correcta.

Aun así, es un hecho que hasta ahora no se ha detectado ningún agujero negro de manera directa. Las pruebas indirectas, por otro lado, se acumulan día a día. Cada vez se descubren más regiones del espacio donde se encuentra una enorme cantidad de materia (que se puede detectar por su influencia gravitacional sobre el movimiento de los cuerpos cercanos) concentrada en un volumen tan pequeño, que debe tener un radio menor que su radio gravitacional. La física de hoy no admite otra interpretación de estas regiones: tienen que ser agujeros negros. Por eso hoy en día se cree, por ejemplo, que hay agujeros negros gigantes en el centro de casi todas las galaxias, incluyendo a la nuestra.

aunque no emite luz, sí emite radiación gravitacional u *ondas gravitacionales*. Las ondas gravitacionales son a la teoría de la gravedad lo que la luz y las ondas de radio son a la teoría electromagnética. Consisten en pequeñas variaciones del campo gravitacional que se propagan a la velocidad de la luz. Al perturbar a un agujero negro, su campo gravitacional empieza a oscilar. El agujero negro se pone a emitir ondas gravitacionales hasta alcanzar nuevamente el reposo. Es algo así como golpear una campana con un martillo y oír la vibrar hasta que se detiene. Al igual que la campana, el agujero negro tiene un "sonido" característico, pero en vez de estar formado de ondas sonoras, este "sonido" está hecho de ondas gravitacionales. En otras palabras, las ondas gravitacionales que produce un agujero negro perturbado tienen un espectro de frecuencias específico que no comparte con ningún otro sistema físico. Analizando ondas gravitacionales igual que analizamos la luz de una estrella para saber de qué está hecha, podríamos identificar con toda certeza al emisor.

¿cómo?*



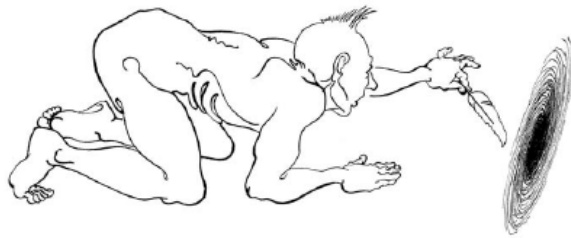
De modo que si logramos perturbar a un agujero negro y observamos las ondas gravitacionales que éste emite, podemos estar seguros de que se trata de un agujero negro y no otra cosa.

Esto nos lleva a dos preguntas naturales: 1) ¿Cómo hacemos para perturbar a un agujero negro? Afortunadamente, la naturaleza lo hace por nosotros. Los agujeros negros rara vez estarán aislados. Al contrario, por lo general se encuentran cerca de estrellas u otras fuentes de masa y continuamente absorben materia. 2) ¿Cómo observamos las ondas gravitacionales? Pues construimos un detector de ondas gravitacionales, por supuesto. Las ondas gravitacionales comprimen los objetos al pasar a través de ellos, por lo que el detector debe ser capaz de medir

cambios de longitud en esos objetos con alta precisión. Para nuestra desgracia, las ondas gravitacionales, según la teoría, son extremadamente débiles, y al llegar a la Tierra causarían cambios en las longitudes de apenas una parte en 10^{21} (un 1 colocado después de 20 ceros a la derecha del punto decimal), es decir, aproximadamente la

diferencia entre el tamaño de un átomo de hidrógeno y la distancia de la Tierra al Sol. Medir cambios de longitud tan pequeños es un problema tecnológico muy complejo que ha impedido detectar las ondas gravitacionales hasta la fecha. Sin embargo, al parecer, los problemas técnicos han sido

finalmente resueltos y hoy en día hay varios detectores de ondas gravitacionales en avanzado estado de construcción en distintos lugares del mundo. Si todo sale bien, en unos años estas máquinas estarán mirando el cielo de manera habitual en busca de ondas gravitacionales y —cruce-mos los dedos— observando directamente por primera vez a los agujeros negros. ➤



Miguel Alcubierre es físico, egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Obtuvo el doctorado en la Universidad de Gales, en Cardiff, Reino Unido, y durante varios años fue investigador adjunto del Instituto Max Planck de Física Gravitacional, en Postdam, Alemania. Recientemente volvió a nuestro país para integrarse al Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. Su área de trabajo es la relatividad numérica.

¿cómo? 17

Anexo 4: Presentación “Agujeros negros”



Agujeros Negros

Edgard Sánchez González

*Imágenes tomadas de internet



¿Qué tan fuerte es la gravedad?

¿Qué tan fuerte es la gravedad?

¿Si lanzas una pelota hacia arriba siempre cae?

Si el Universo se encuentra en expansión constante y los cuerpos celestes se alejan cada vez más los unos de los otros, ¿La gravedad estará perdiendo la batalla?





Velocidad de escape

Cuando un cuerpo se mueve a esta velocidad, logra escapar del efecto de la gravedad.

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2G \cdot M}{r}}$$

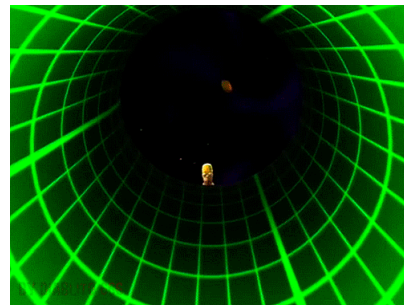
* G es la constante de la gravitación universal



La teoría de la Relatividad General (1915)

Un agujero negro es una enorme concentración de masa que produce una fuerza gravitacional tan fuerte que nada, ni siquiera la luz puede escapar.

Si de la mencionada teoría de Einstein sabemos que la gravedad es una deformación del Espacio-Tiempo, podemos concluir que los agujeros negros provocan una severa deformación.





El horizonte de sucesos

Nadie sabe que hay dentro de un agujero negro, lo que si sabemos es que a mayor proximidad el tiempo transcurre más lento y que existe un horizonte de sucesos, que es la distancia mínima a la que se puede acercar sin ser atrapado. Una vez que se atraviesa el horizonte de sucesos y se adentra en el agujero negro, es imposible salir de él.



Especulaciones acerca de los agujeros negros

- Una vez creados los agujeros negros parecen ser indestructibles, son perfectamente capaces de devorar planetas y estrellas
- Las distorsiones creadas por los agujeros negros podrían estar creando túneles llamados “agujeros de gusano”, los cuales enlazarían regiones distantes del Universo





¿Cómo surgen los agujeros negros?

Las grandes estrellas fusionan nuclearmente sus elementos formando continuamente núcleos más pesados hasta que en un punto pierden el equilibrio y da lugar a una gran explosión, la "Supernova". Si el núcleo es lo suficientemente grande se seguirá comprimiendo hasta formar un agujero negro



¿De que tamaño son los agujeros negros?

- Primordial: Es del tamaño de un átomo pero tiene la masa de una montaña
- Estelar: Es de tamaño intermedio y es el más común, existen varias docenas de ellos en la vía láctea. Se calcula que en promedio tienen 30 veces la masa del sol concentrada en una esfera de 5 kilómetros de diámetro.
- Supermasivos: Tienen varios millones de veces la masa del sol en una esfera del tamaño aproximado a nuestro sistema solar. La evidencia científica sugiere que toda galaxia tiene al menos un agujero negro super masivo, el que se encuentra en el centro de la vía láctea recibe el nombre de Sagittarius A, y en un diámetro similar al del sol concentra 4 millones de veces su masa.

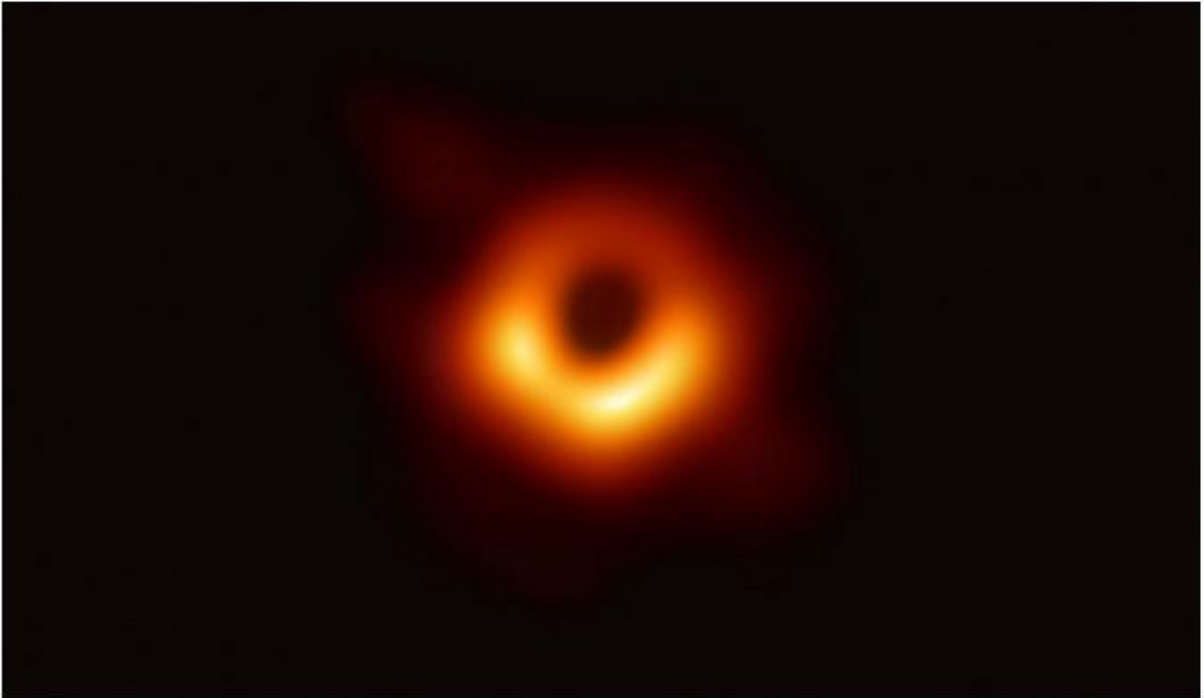
Anexo 5: Ejercicio numérico

Ejercicio Sesión 2

Integrantes del equipo: _____

1. Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera de 300 000 (km/s). Nota: Investigar la información que se necesite

Anexo 6: Primera imagen de un agujero negro



Using the Event Horizon Telescope, scientists obtained an image of the black hole at the centre of galaxy M87, outlined by emission from hot gas swirling around it under the influence of strong gravity near its event horizon. Credit: EHT

Anexo 7: Lectura

De Régules, S. (2017, Diciembre). *Astronomía de mensajeros*. ¿Cómo ves?, 229, 8-13.



Tras varias semanas de trabajar casi en secreto, una colaboración de más de 3500 científicos nos presenta el primer fenómeno astronómico que se ve y se oye.

A los científicos, como a todo el mundo, les gusta hacer anuncios espectaculares y en años recientes nos han sorprendido varias veces. Algunos anuncios terminaron en fiascos, como en 2014, cuando la colaboración BICEP2 informó —prematuramente— que había detectado

ondas gravitacionales del *Big Bang* (véase ¿Cómo ves? No. 186). Otras grandes noticias se han desinflado al revelarse que ciertas observaciones inicialmente asombrosas tenían una explicación trivial (véase ¿Cómo ves? No. 171).

Pero el primer anuncio de la colaboración LIGO, que opera dos detectores de ondas gravitacionales en Estados Unidos, sí cumplió la promesa. En febrero de 2016 los científicos de este equipo internacional informaron que habían detectado por primera vez las ondas gravitacionales que predijo Einstein hace 100 años (véase ¿Cómo ves? No. 208). El descubrimiento culminó con el premio Nobel de física de 2017 para los inventores e impulsores de los interferómetros LIGO (siglas en inglés de Observatorio de Ondas Gravitacionales).

MÚLTIPLES

Por Sergio de Régules

cionales por Interferometría Láser). Así, cuando la colaboración anunció un segundo descubrimiento espectacular el 16 de octubre de 2017, miles de personas de todo el mundo se conectaron con interés a la transmisión en vivo por internet de la conferencia de prensa (bit.ly/2hJqXqO).

Abrió el panel France Córdova, directora de la Fundación Nacional para la Ciencia de Estados Unidos, institución que ha financiado al proyecto LIGO por espacio de casi 40 años. “Me complace anunciar que hemos detectado ondas gravitacionales provenientes del choque de dos estrellas de neutrones”, dijo Córdova. “Lo que hace más emocionante este descubrimiento es que los científicos detectaron además luz —ondas electromagnéticas— de la colisión: por primera

vez hemos visto un fenómeno cósmico por medio de ‘mensajeros múltiples’: ondas gravitacionales y ondas electromagnéticas.”

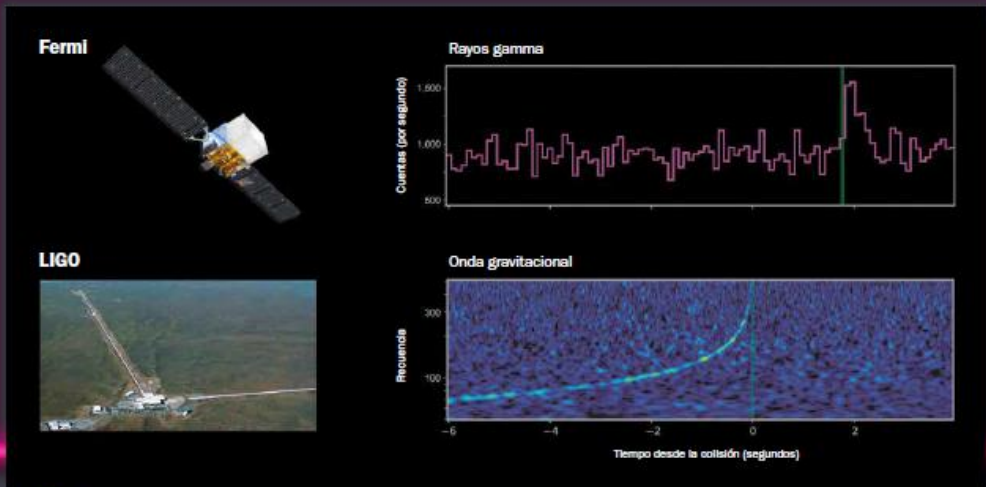
Señal insólita

Luego France Córdova le cedió la palabra a David Reitze, director ejecutivo de la colaboración LIGO-Virgo (el detector Virgo, situado en Italia, se unió a la red de detección de ondas gravitacionales en agosto), quien informó que el 17 de agosto de 2017 los finísimos oídos de sus detectores captaron una tenue vibración del espacio-tiempo. Era la quinta vez que se registraban ondas gravitacionales desde septiembre de 2015 y la nueva señal no habría sido digna de mención si no fuera porque esta vez

Dos pequeñas y compactas estrellas de neutrones a punto de fusionarse y explotar como kilonova, fenómeno en el cual se producen ondas gravitacionales y un estallido de rayos gamma, tal como observaron el 17 de agosto de 2017 la colaboración LIGO-Virgo y Fermi/INTEGRAL, respectivamente (imagen: University of Warwick/Mark Garlick).

¿cómo? 9

Prohibida la reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio, sin la autorización expresa del editor.



Las primeras señales de la colisión de estrellas de neutrones el 17 de agosto de 2017 (imagen: NASA-GSF/Caltech/MIT/LIGO Lab/ESA).

todo fue distinto, como explicaron a lo largo de la conferencia de prensa Reitze y 14 colegas más, en representación de 3500 físicos y astrónomos de muchos países, que desde el día de la detección estuvieron trabajando frenéticamente y casi en secreto.

Tras confirmar que la señal se había registrado en los tres detectores LIGO-Virgo, los científicos notaron que este susurro gravitacional era diferente. Las

mismo por efecto de la gravedad. En esta prensa cósmica la materia se comprime tanto que desaparece, dejando solamente su negro fantasma gravitacional. Un hoyo negro no está hecho de nada. Por lo tanto, nada emerge de la colisión de dos hoyos negros, fuera del tenue escalofrío espacio-temporal que capturaron los científicos por primera vez en septiembre de 2015 (producido por la colisión de dos hoyos negros de unas 30 veces la masa del Sol).

señales anteriores habían durado un par de segundos, pero la del 17 de agosto persistió casi dos minutos, lo que indicaba que no se debía a una colisión de hoyos negros sino de objetos más ligeros. De hecho, la señal tenía las características que se habían anticipado del canto mortal de una pareja de estrellas de neutrones en colisión, un acontecimiento que los científicos anhelaban con ansia porque sería el primer fenómeno de este tipo que además de ondas gravitacionales produciría luz. También se esperaba que aportara la solución de varios misterios añejos.

Objetos compactos

Un hoyo negro es el intenso y retorcido campo gravitacional que queda tras la muerte explosiva de una estrella mucho más grande que el Sol (véase *¿Cómo ves?* No. 44). La estrella se desgarró en la explosión y lo que queda se derrumba sobre sí

Las estrellas de neutrones también son cadáveres estelares, pero menos masivos (las de agosto tenían alrededor de dos veces la masa del Sol). Por ser más ligeras, tras la explosión la gravedad no las comprime hasta desaparecer como los hoyos negros, sino sólo hasta que los átomos que las componen se aplastan y sus electrones se funden con sus protones para dar neutrones. Una estrella de neutrones puede contener la masa del Sol en una bola del tamaño de la Ciudad de México. Esta esfera súper densa gira sobre su propio eje a razón de varias revoluciones por segundo y genera un campo magnético billones de veces más intenso que el de la Tierra. Las estrellas de neutrones sí contienen materia, y desde los años 70 había modelos teóricos que anticipaban que sus colisiones, además de ondas gravitacionales, producirían átomos de elementos químicos pesados y muchos tipos de luz.

(Casi) todo el oro del mundo

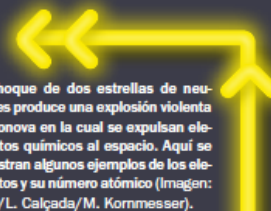
Los choques de estrellas de neutrones no se deben a encuentros accidentales de dos individuos que nunca se habían visto: sólo chocan las estrellas que se formaron juntas, en parejas, o sistemas “binarios”, como la mayoría de las estrellas (el Sol es una excepción). Las estrellas binarias giran una alrededor de la otra y la situación no cambia si se convierten en estrellas de neutrones (u hoyos negros) al final de sus vidas estelares.

En la conferencia de prensa del 16 de octubre la astrofísica griega Vicky Kalogera, de la Universidad Northwestern y el proyecto LIGO, señaló que desde 1974 sabemos que sí existen estrellas de neutrones en pareja. Ese año Russell Hulse y Joseph Taylor, de la Universidad de Massachusetts, descubrieron un “pulsar binario” (véase *¿Cómo ves?* No. 173). Luego de observarlo un tiempo dedujeron que sus componentes no se desplazaban en círculo, sino en una espiral que lentamente se iba encogiendo. Hulse y Taylor demostraron que el sistema estaba perdiendo energía exactamente al ritmo que debería si sus componentes estuvieran agitando el espacio-tiempo y emitiendo ondas gravitacionales como dos ballenas retonzanas.

Kalogera observó que las estrellas de neutrones de Hulse y Taylor están separadas casi dos millones de kilóme-

esferas de 20 kilómetros de diámetro rondándose a más de 1 000 revoluciones por segundo), que parte de la materia que las compone sale expulsada como de las aspas de una batidora a máxima potencia. Grandes salpicaduras de materia incandescente se esparcen por el espacio y esa materia se ensambla en trillones de mueganitos hechos de muchos protones y neutrones aglomerados: núcleos atómicos de elementos pesados y sus isótopos radiactivos (un elemento se distingue de otro por el número de protones de su núcleo y los isótopos de un mismo elemento se distinguen por el número de neutrones).

Marica Branchesi observó que “muchos elementos pesados sólo se pueden formar en colisiones de estrellas de neutrones” —por ejemplo, el radio y el polonio, descubiertos por Marie Curie, y el uranio que sirve de combustible en los reactores nucleares—. Antes se pensaba que todos los elementos químicos excepto el hidrógeno, se formaban en el interior de las estrellas y en las supernovas, violentas explosiones en las que mueren las estrellas más masivas. Pero la producción de elementos pesados en las supernovas no bastaba para explicar las cantidades de estos elementos que observamos en el Universo (por ejemplo, el oro, del que las supernovas producen poco). Con los elementos que deberían generar las colisiones de estrellas de neutrones se podría

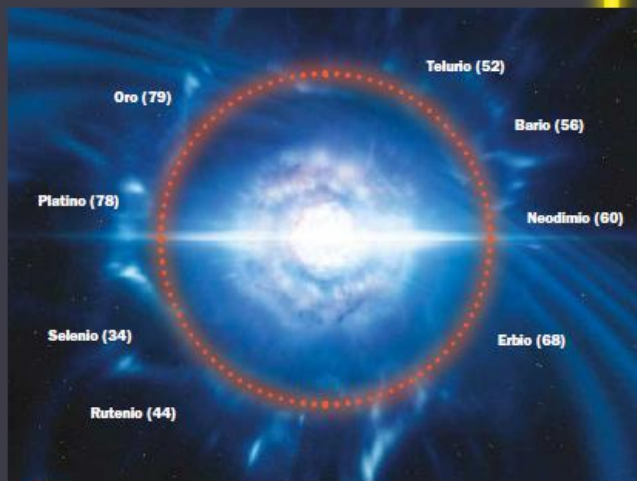


El choque de dos estrellas de neutrones produce una explosión violenta o kilonova en la cual se expulsan elementos químicos al espacio. Aquí se muestran algunos ejemplos de los elementos y su número atómico (Imagen: ESO/L. Calçada/M. Kommesser).

tros, y al ritmo que van no chocarán hasta dentro de 300 millones de años. En cambio las de agosto son harina de otro costal: “Cuando empezamos a oírlos con LIGO y Virgo se encontraban a sólo 320 kilómetros una de la otra y unos 100 segundos después se fusionaron”, dijo Vicky Kalogera.

También desde 1974 se sospechaba que la colisión de dos estrellas de neutrones, como crisol de alquimista, debería formar átomos nuevos de elementos químicos “pesados” (con muchos protones y neutrones en el núcleo) —plata, oro, platino, uranio y otros—, como narró en la conferencia de prensa la astrofísica italiana Marica Branchesi, del proyecto Virgo y la Universidad de Urbino.

Desde ese año, muchos trabajos teóricos han sugerido que al fusionarse las estrellas de neutrones, giran tan rápido una alrededor de la otra (imaginense dos





completar el balance, pero nunca se había observado este proceso.

Regalo del cielo

La astrofísica Julie McEnery, científica adjunta del Telescopio Espacial Fermi de Rayos Gamma, de la NASA, explicó otro misterio cósmico que se esperaba resolver cuando se observara la primera colisión de dos estrellas de neutrones. Desde hacía tiempo los astrofísicos pensaban que a los pocos segundos de una colisión, dos chorros de materia impulsados por el giro y el intenso campo magnético salían disparados a velocidades cercanas a la de la luz por los polos de las estrellas de neutrones. La violencia de estos chorros se descargaba en un relámpago de luz de alta energía, conocida como rayos gamma. Esto daría lugar a los llamados “destellos de rayos gamma de corta duración”... si los modelos teóricos eran correctos.

El halo de átomos pesados que se forma tras la colisión es radiactivo. Los núcleos atómicos se desintegran espontáneamente en fragmentos llenos de energía que calientan la nube y la ponen a brillar. Durante varios días la nube emite un resplandor de luz visible (bautizado como “kilonova” en 2010 por el físico Brian David Metzger porque

Todo eso sugerían los modelos teóricos acariciados por decenios sin confirmación por falta de aparatos capaces de detectar ondas gravitacionales y colisiones de estrellas de neutrones que observar. Los aparatos se diseñaron, construyeron y probaron durante 40 años y finalmente empezaron a escuchar el cielo en septiembre de 2015. La anhelada colisión de dos estrellas de neutrones se produjo el 17 de agosto de 2017. “Todas estas predicciones se confirmaron”, dijo, muy ufana, Vicky Kalogera.

Frenesí internacional

El 17 de agosto, antes de que se supiera nada, el Telescopio Espacial Fermi de Rayos Gamma captó un destello de rayos gamma, lo cual no tiene nada de extraordinario, pues estos fognozos de radiación de alta energía son comunes (se detectan 100 o 200 al año y se conocen desde 1967, cuando unos satélites diseñados para detectar explosiones nucleares clandestinas en la Tierra captaron señales de rayos gamma del espacio).

Pero, como cuenta Julie McEnery, media hora después el equipo recibió un correo electrónico de un colega que trabaja también en la colaboración LIGO-Virgo: “Este destello de rayos gamma

A los pocos segundos de una colisión, dos chorros de materia impulsados por el giro y el intenso campo magnético salen disparados a velocidades cercanas a la de la luz por los polos de las estrellas de neutrones. La violencia de estos chorros produce los destellos de rayos gamma de corta duración (magenta) (imagen: NASA-GSF/CI Lab).

se esperaba que fuera tan intenso como miles de explosiones estelares conocidas como “novas”, que luego se irá atenuando y enrojeciendo a medida que pierde energía y que la desintegración radiactiva de los átomos originales los convierte en átomos de elementos más ligeros y estables.

tiene un amigo interesante”, decía enigmáticamente el mensaje. Resultó que el destello de rayos gamma había ocurrido 1.7 segundos después de la sacudida gravitacional. Era casi imposible que fuera casualidad. “Y así empezó la mañana más emocionante de los nueve años que lleva el proyecto Fermi”, observa McEnery. Y lo fue porque con esta doble observación se confirmaba la sospecha añeja de que los destellos de rayos gamma de corta duración (los hay de larga, pero esa es otra historia) se deben a colisiones de estrellas de neutrones.

Los detectores LIGO, situados uno a 3000 kilómetros del otro en Estados Unidos, sólo pueden dar una idea vaga de la dirección de la que proviene una ráfaga de ondas gravitacionales. Con el detector Virgo, en Pisa, Italia —que se acababa de integrar a las observaciones unos días antes— la procedencia se puede establecer mejor, pero no mucho: sigue siendo una parcela de cielo muy extensa. Pero si las ondas gravitacionales y el destello



de rayos gamma eran dos mensajeros distintos con noticias de una misma catástrofe cósmica, los datos del telescopio Fermi permitirían precisar aun más la región de donde llegaron. La información conjunta de ondas gravitacionales y rayos gamma permitió delimitar una parcela de cielo de extensión equivalente a 60 lunas llenas, en la dirección de la constelación de la Hidra.

Era fundamental precisarlo, porque si se trataba en efecto de una colisión de estrellas de neutrones, según los cálculos teóricos cabía esperar acontecimientos interesantes en las horas, los días y las semanas posteriores a la emisión de las ondas gravitacionales y el destello de rayos gamma. Había que poner en marcha a toda prisa un plan de observación con telescopios de todos tipos —ópticos, infrarrojos, de rayos X, espaciales y terrestres, grandes y chicos— para no perderse ninguna de las etapas previstas: el primer resplandor azul de la kilonova durante los primeros días, el enrojecimiento posterior que indicaría la formación por desintegración de átomos más estables, las emisiones de rayos X y finalmente las ondas de radio (etapa que puede durar varios meses).

Los planes estaban establecidos y las colaboraciones listas en previsión de lo que ocurrió ese día, así que, en cuanto se descubrió que el destello de rayos gamma tenía un amiguito interesante, un ejército



sus instrumentos hacia esa galaxia, que durante varias semanas se convirtió en el punto más vigilado del cielo.

Nueva era

La campaña mundial de observación se llevó a cabo con discreción, lo que fue difícil con miles de personas emocionadísima trabajando en el proyecto. Con todo, pese a algunos rumores, la noticia no se supo hasta el 16 de octubre. Ese mismo día se publicaron cerca de 30 artículos con todas las investigaciones en las revistas *Nature*, *Science* y *Astrophysical Journal Letters*. El artículo maestro que compendia todo el esfuerzo tiene más de 3500 autores.

Imagen de la kilonova el día que se descubrió y cuatro días después, vista desde el Observatorio Las Campanas en Chile (imagen: Carnegie Institution for Science).

MÁS INFORMACIÓN

- Bartusiak, Marcia, *La sinfonía inacabada de Einstein*, Ed. Océano ámbar, Barcelona, 2002.
- Alcubierre, Miguel, "Las ondas gravitacionales", *Revista Digital Universitaria*, UNAM: www.revista.unam.mx

de astrónomos y telescopios distribuidos en más de 70 observatorios por todo el mundo puso manos a la obra para peinar la región del cielo indicada en busca de la ubicación exacta de la colisión de estrellas de neutrones. Para mala suerte de todos, el Sol estaba de intruso temporal cerca de esa región. Había que esperar a que se ocultara, e incluso así quedaban sólo un par de horas para observarla antes de que se perdiera bajo el horizonte. Los observatorios se fueron pasando la estafeta: cuando uno perdía de vista la región, otro la recogía y así, hasta que un equipo de la Universidad de Virginia, usando el pequeño telescopio Swopes situado en el cerro Las Campanas, Chile, localizó un puntito de luz nuevo en el borde de la novena galaxia que examinaron (llamada NGC4993 y situada a unos 140 millones de años luz). Inmediatamente otros equipos de astrónomos dirigieron

En la conferencia de prensa los científicos relataron sin disimular su emoción que las etapas del fenómeno se fueron sucediendo casi exactamente como anticipaban las teorías, algunas desde hace varias décadas. El "casi" es importante: las diferencias con lo que se esperaba les darán trabajo a los científicos durante meses, o quizá años.

David Reitze dijo: "Para mí la gran noticia es que ya estamos usando la nueva herramienta de la astronomía de ondas gravitacionales en combinación con la astronomía electromagnética tradicional para estudiar los fenómenos más violentos del Universo. Es la primera vez que el cosmos nos presenta una película con sonido". O más bien la primera vez que nuestros instrumentos nos permiten ver y oír el cielo al mismo tiempo. Bienvenidos a la era de la astronomía de mensajeros múltiples. 🎧

- *Introducción a LIGO y a las ondas gravitacionales*, LSC (Ligo Scientific Collaboration): www.ligo.org/sp/science/GW-Detecting.php

Sergio de Régules es divulgador de la ciencia y coordinador científico de esta revista. Su libro más reciente es *Cielo sangriento* (Fondo de Cultura Económica, Cd. de México 2016).

Anexo 8: Lectura

Drake, N. (2017, Noviembre). Te explicamos qué son las ondas gravitacionales, cuya detección ha sido galardonada con el Nobel de Física de 2017. Diciembre 06, 2021, de National Geographic Sitio web: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/2017/10/te-explicamos-que-son-las-ondas-gravitacionales-cuya-deteccion-ha-sido-galardonada>

Espacio

Te explicamos qué son las ondas gravitacionales, cuya detección ha sido galardonada con el Nobel de Física de 2017

Tres físicos estadounidenses han sido galardonados por detectar directamente las ondas gravitacionales, pero ¿por qué son tan importantes estas ondas en el espacio-tiempo?

Por Nadia Drake

Publicado 9 Nov. 2017 4:29 CET

El 3 de octubre la Real Academia de las Ciencias de Suecia otorgó a los físicos **Rainer Weiss, Kip Thorne y Barry Barish** el Premio Nobel de Física por haber detectado de forma directa las ondas gravitacionales, una especie de arrugas en el espacio-tiempo que el propio **Einstein** predijo en su teoría de la relatividad general, pero que habían sido muy difíciles de detectar, hasta 2015.

A juzgar por la algarabía en torno al anuncio en 2016 de la primera detección, este es probablemente el Nobel de Física **menos sorprendente** desde el de 2013, cuando los físicos François Englert y Peter Higgs lo ganaron por su teoría del **bosón de Higgs**.

«Durante **40 años**, la gente ha estado pensando en esto, intentando conseguir una detección, en ocasiones fracasando durante los primeros días y después, poco a poco pero con seguridad, conseguimos reunir la tecnología necesaria para hacerlo», declaró Weiss. «Es **muy emocionante** que funcionara finalmente y que hayamos detectando algo, y que a través de las ondas gravitacionales estemos aumentando nuestro conocimiento sobre lo que ocurre en el universo».

Weiss, del MIT, y Thorne y Barish, de Caltech, tuvieron **un papel decisivo** a la hora de llevar a buen término uno de los experimentos más ambiciosos (y caros) de las dos últimas décadas: el **LIGO**, u observatorio de ondas gravitacionales por interferometría láser. En septiembre de 2015, los dos enormes detectores de LIGO consiguieron escuchar el leve susurro de **dos agujeros negros** que habían colisionado hace más de mil millones de años.

El poder de esa colisión curvó el tejido del espacio-tiempo, produciendo ondas que, viajando a la velocidad de la luz, tardaron más de **mil millones de años** en modificar de

forma casi imperceptible la distancia entre dos conjuntos de espejos en cada uno de los detectores de LIGO.

Noticia relacionada: [Detectadas nuevas ondas gravitacionales resultantes del choque entre dos agujeros negros masivos](#)

«El premio de este año tiene que ver con un descubrimiento que sacudió al mundo», afirmó Göran Hanssen, secretario general de la academia sueca. La Fundación Nobel otorgó a Weiss **la mitad del millón de dólares** del premio y la otra mitad a Barish y Thorne «por sus contribuciones decisivas al detector LIGO y por la observación de las ondas gravitacionales».

A continuación, te explicamos la información que tenemos sobre estas ondas cósmicas.

¿Qué son las ondas gravitacionales?

Para entendernos, las ondas gravitacionales son ondas en el tejido del espacio-tiempo producidas por los **fenómenos más violentos del cosmos**: la explosión de estrellas, las colisiones entre estrellas de neutrones increíblemente densas o la fusión de agujeros negros.

Estos cataclismos cósmicos liberan tal cantidad de energía que radian ondas gravitacionales que podemos observar directamente **en forma de distorsiones** en el rígido y resistente tejido del espacio-tiempo. Las ondas gravitacionales pasan por la Tierra constantemente, pero ningún experimento contaba con la sensibilidad suficiente como para detectarlas hasta hace poco.

Te puede interesar: [La NASA lanza un nuevo telescopio para estudiar agujeros negros](#)

¿Por qué son tan difíciles de detectar?

Para cuando las ondas gravitacionales nos alcanzan desde los fenómenos distantes donde se originaron, solo han distorsionado el espacio-tiempo en magnitudes realmente minúsculas. Una onda gravitacional que atraviesa la Tierra, puede **dilatar y contraer** el espacio entre dos ejes, pero dicha distorsión representa una pequeña **fracción de la anchura de un protón**, una de las partículas que se encuentra en el núcleo de un átomo. Medir estos diminutos cambios de longitud es prácticamente imposible para la mayoría de instrumentos.

Entonces, ¿cómo detectan los científicos las ondas gravitacionales?

La primera detección directa se hizo a través de **LIGO** (el Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser), financiado por la Fundación Nacional para la Ciencia.

Estas instalaciones estadounidenses constan de dos **detectores idénticos en forma de «L»** en los estados de Washington y en Luisiana. Cada uno de ellos emplea láseres y espejos para medir cambios diminutos en el espacio-tiempo, provocados por la radiación gravitacional que los atraviesa. Es el dispositivo de medición más sensible del planeta, y cada brazo de la «L» mide casi **4 kilómetros** de extremo a extremo. La LIGO Science Collaboration es igualmente gigantesca, con **más de 1.000 científicos** que forman parte de ella.

Para la detección de las ondas gravitacionales, el quid de la cuestión es la **variación de la distancia entre los espejos** situados en cada extremo de estos brazos perpendiculares de 4 kilómetros de largo.

Un espejo se fija en la punta de cada brazo y otro se sitúa en la intersección entre ambos brazos. A medida que las ondas gravitacionales atraviesan la Tierra, primero **alteran la distancia** entre un par de espejos y a continuación alteran la distancia entre el par perpendicular. Un láser que rebota entre los espejos realiza un seguimiento de la distancia entre ellos con un grado de precisión que parece casi imposible (los detectores son sensibles a cosas como el paso de camiones, impactos de rayos, olas en el mar y terremotos). Para que una señal sea real, debe aparecer **en ambos detectores**.

Hasta ahora, al menos **cuatro** de estas señales han sido detectadas por LIGO, y todas ellas son producto de la **colisión de agujeros negros**. Se espera un supuesto anuncio inminente sobre una quinta señal, que se rumorea que ha sido producida por la fusión de **estrellas de neutrones**.

Te puede interesar: [Diez descubrimientos históricos que deberían haber recibido un Premio Nobel](#)

«Ahora hemos presenciado el amanecer de un nuevo campo, la **astronomía de ondas gravitacionales**», afirmó Nils Mårtensson, del comité del Nobel. «Esto nos enseñará más acerca de los procesos más violentos del universo y llevará a la obtención de nueva información sobre la naturaleza de la gravedad extrema».

Ahora podemos seguir en directo al **detector Virgo** del Observatorio Gravitacional Europeo, similar a LIGO en cuanto a su diseño. De hecho, este también detectó la cuarta colisión entre agujeros negros observada por los detectores gemelos de LIGO. Con **tres observatorios** como estos en funcionamiento, los científicos pueden identificar con mayor precisión la región celestial donde se encuentra **la fuente de las ondas** gravitacionales. Se prevé que experimentos similares en Japón y la India se unan a estos detectores en funcionamiento.

¿Existen otras formas de detectarlos?

Otros equipos, como el **NANOGrav** (el Observatorio Norteamericano de Ondas Gravitacionales por Nanohercios) y dos proyectos de colaboración similares **en Europa y Australia**, están empleando cadáveres estelares giratorios llamados púlsares para registrar el paso de ondas gravitacionales. Los púlsares son unos de los relojes más precisos del cosmos: las piruetas de estos objetos emiten potentes haces de radiación electromagnética que llegan a la Tierra a ritmo regular, como si los púlsares fueran faros.

Los astrónomos pueden emplear las variaciones en la **cronometría de los púlsares** para detectar la radiación gravitacional, que barre una serie de estrellas muertas de forma reveladora. A diferencia de LIGO, las cadenas de tiempo pulsar pueden detectar las ondas gravitacionales liberadas por las colisiones de **agujeros negros supermasivos**, los monstruos que se revuelven en los núcleos de las galaxias.

Además, la NASA y la Agencia Espacial Europea están desarrollando una misión denominada **LISA** —*Laser Interferometer Space Antenna* o Antena Espacial por Interferometría Láser— que utilizará **tres detectores en el espacio**, situados a millones de kilómetros de distancia, para detectar estas pequeñas vibraciones en el espacio-tiempo.

Noticia relacionada: [¿Podría LIGO haber detectado una colisión entre estrellas de neutrones?](#)

¿Quién surgió por primera vez la idea de las ondas gravitacionales?

En 1916, **Albert Einstein** sugirió que las ondas gravitacionales podrían ser el resultado natural de su **teoría de la relatividad general**. Aunque otros científicos aceptaron su predicción, Einstein no estaba totalmente convencido de que estaba en lo cierto; durante las décadas posteriores, se devanó los sesos constantemente sobre la cuestión de las ondas gravitacionales y en algunas ocasiones publicó estudios que **refutaban su idea** original.

En la década de 1970, los científicos que observaban un par de púlsares que orbitaban el uno alrededor del otro **detectaron de forma indirecta** ondas gravitacionales por primera vez. Empleando el radiotelescopio gigante de Arecibo, en Puerto Rico, el equipo midió las órbitas de los púlsares y determinó que se estaban acercando. Para que eso ocurra, el sistema debe haber estado radiando energía en forma de ondas gravitacionales, una idea por la que se otorgó a **Joe Taylor y Russell Hulse** el Premio Nobel de Física de 1993.

Y luego, por supuesto, el equipo de LIGO detectó directamente ondas gravitacionales en septiembre de 2015, poniendo fin a un siglo de especulación y **confirmando la predicción original de Einstein**.

«Este fenómeno causó sensación en todo el mundo», afirmó Olga Botner, del comité del Nobel. «**Sabíamos indirectamente** que las ondas gravitacionales existían, pero esta ha sido la primera vez en la que se han observado **directamente**».

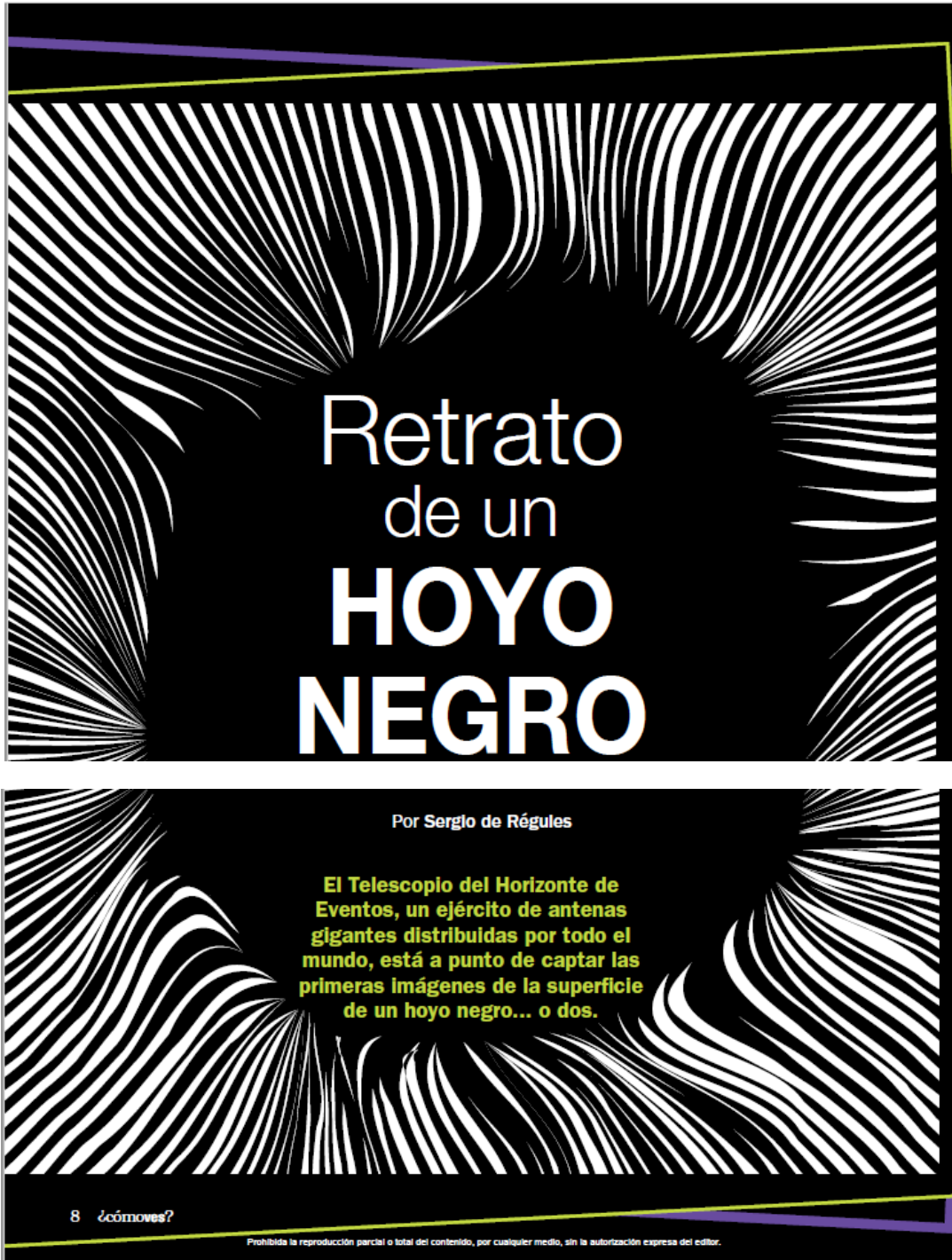
Más sobre Einstein: [La ciencia da la razón a Einstein... otra vez](#)

Aparte del hecho de que prueban (una vez más) que Einstein tenía razón ¿por qué nos importan tanto estos fenómenos?

Desde el primer anuncio de detección de ondas gravitacionales por parte de LIGO, hemos recabado **mucha más información** sobre el cosmos, concretamente que los agujeros negros de proporciones gigantescas parecen estar colisionando con más frecuencia de lo que pensábamos.

Anexo 9: Lectura

De Régules, S. (2017, Abril). Retrato de un hoyo negro. *¿Cómo ves?*, 221, 8-13.



En su libro sobre hoyos negros, *El colapso del Universo*, el gran divulgador de la ciencia Isaac Asimov escribió: “Un hoyo no es nada, y si es negro, ni siquiera se ve”. Y hasta hoy, en efecto, ver lo que se dice ver, nadie ha visto un hoyo negro. Es más, ni siquiera teníamos la certeza de que existieran hasta bien entrado este siglo —y la certeza absoluta hasta septiembre de 2015, cuando la colaboración LIGO detectó por primera vez ondas gravitacionales debidas a la fusión de dos hoyos negros—, pero detectar ondas gravitacionales equivale a “oír” hoyos negros, no a verlos (véase *¿Cómo ves?* No. 208).

Este mes las cosas podrían cambiar cuando el Telescopio del Horizonte de Eventos (THE) dirija hacia el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, su ejército de antenas parabólicas gigantes repartidas del Polo Sur a Estados Unidos y de España a Hawai para tratar de captar la primera imagen de la vecindad inmediata del hoyo negro súper masivo que vive ahí, llamado Sagitario A*. El Gran Telescopio Milimétrico, situado en la cima del volcán Sierra Negra, Puebla, forma



este “disco de acreción” gira en órbitas apretadas alrededor del hipotético hoyo negro, se calienta por fricción a millones de grados y emite cantidades descomunales de energía en forma de radiación: las inmediaciones de un hoyo negro son lugares muy luminosos. Los rayos X de Cygnus X-1 son el alarido electromagnético de la materia del disco de acreción en la batidora cósmica.

El Telescopio del Horizonte de Eventos dirigirá su ejército de antenas parabólicas gigantes al centro de nuestra galaxia para captar la primera imagen de las inmediaciones del hoyo negro súper masivo que vive ahí, en Sagitario A*. Imagen: ESAC. Carreau/NASA

parte de esta cohorte de radiotelescopios que funcionarán en concierto entre el 5 y el 14 de abril de 2017 para absorber la radiación de Sagitario A*, atenuada por un viaje de 27000 años luz, o 250000 millones de millones de kilómetros, a través de enjambres de estrellas y espesas nubes de gas y polvo galácticos.

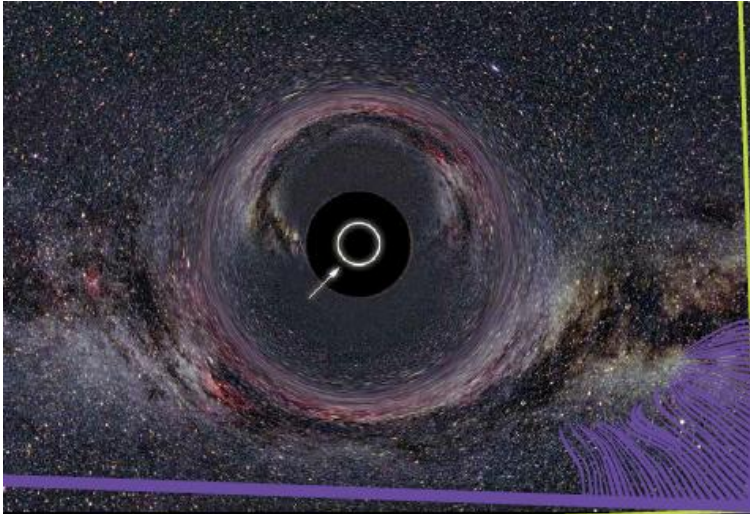
La guarida de la bestia

Aunque no teníamos la certeza de que existieran los hoyos negros, pocos lo dudaban, porque desde los años 60 se han observado fenómenos celestes que sólo se explican si existen estos objetos ultracompactos de intensísima gravedad. El primer candidato a hoyo negro fue un punto en la constelación del Cisne que emite grandes cantidades de energía en forma de rayos X, Cygnus X-1. Si un agujero negro es una estrella colapsada, en su entorno hay gases y polvo, o incluso otra estrella, como parece ser el caso aquí. El hoyo negro atrae material de la estrella o del entorno gaseoso y polvoriento. Este material forma un remolino alrededor del hoyo negro, como el agua que se va por el drenaje. El material de

Otro candidato era Centauro A, una galaxia entera con fuertes emisiones de radio en cuyo centro quizá acecha un hoyo negro gigante formado por la fusión de millones de masas estelares.

Pero el caso más convincente y prometedor es Sagitario A*, un punto que emite ondas de radio, microondas, radiación infrarroja, luz y rayos X y que se encuentra exactamente en el centro de nuestra galaxia. En los últimos 15 años, los equipos de Stefan Gillessen, del Instituto Max Planck de Física Extraterrestre, en Alemania, y de Andrea Ghez, de la Universidad de California en Los Ángeles, han observado por medio de radiotelescopios un enjambre de estrellas que revolotean agitadamente alrededor del compactísimo centro de Sagitario A*. Para mantenerlas tan alborotadas, el objeto que las tiene presas debe de tener una masa igual a cuatro millones de veces la del Sol. A juzgar por lo apretado de las órbitas, esa masa está concentrada en un radio menor que el del Sistema Solar. Si, en efecto, es un hoyo negro, su radio será todavía menor: 44 millones de kilómetros, o menos que la distancia del Sol a Mercurio.

Si un agujero negro es una estrella colapsada con un entorno de gases y polvo que se arremolinan, se calientan y emiten radiación, sus inmediaciones deben ser lugares muy luminosos.



Por más súper masivo que sea, el hoyo negro del centro de la galaxia es apenas un punto, un piquete de alfiler en la piel del cielo. La línea blanca indica la frontera de la región sin retorno u horizonte de eventos del hoyo negro: lo que ocurra más allá jamás se podrá ver.
Imagen: Uta Kraus/Axel Meillinger

Un objeto de ese tamaño y a esa distancia abarca alrededor de una cienmilésima de grado en el cielo, el tamaño aparente de una naranja en la Luna. Por más súper masivo que sea, el hoyo negro del centro de la galaxia es apenas un punto, un piquete de alfiler en la piel del cielo.

Además este punto está inmerso en el velo del material que se interpone entre nosotros y el centro de la Vía Láctea como una perla envuelta en gas. El material absorbe y desvía la radiación de Sagitario A*, distorsionando cualquier imagen. Es imposible ver el hoyo negro propiamente dicho. O lo era hasta hoy.

una escalera hasta la Luna o un caracol trepando por una pared suficientemente elevada—, no necesitaría alcanzar la velocidad de escape. La restricción sólo se aplica cuando quieres escapar del objeto celeste de un solo empujón inicial”.

La velocidad de escape de un cuerpo celeste depende de dos cosas: la masa total y el tamaño del cuerpo; o sea que en el fondo depende sólo de una: cuán compacto sea el objeto. Júpiter tiene una masa 330 000 veces mayor que la de la Tierra, pero como es una fofa bola de gas —no un compacto planeta rocoso como el nuestro— su velocidad de escape es sólo unas cinco veces mayor.

Un hoyo negro es un objeto tan compacto, que su velocidad de escape es la velocidad de la luz. En principio, cualquier objeto se puede convertir en hoyo negro si se comprime lo suficiente. Yo tendría que convertirme en una bolita de un décimo de cuatrillonésimo de metro para ser hoyo negro —un átomo es mil trillones de veces más grande—. Para que la Tierra fuera un hoyo negro toda su masa tendría que meterse en una bolita de dos centímetros de diámetro, y la del Sol en seis kilómetros: un estado de la materia verdaderamente extremo, si se puede imaginar. De hecho, no se pudo imaginar hasta mediados del siglo pasado, cuando los astrofísicos encontraron

Un hoyo negro es la expresión extrema de la fuerza de gravedad, una región en la que el espacio-tiempo se arruga y se desconecta del resto del Universo, la puerta de escape por la que una estrella —o un millón— puede salir del escenario cósmico dejando sólo el oscuro fantasma de su atracción gravitacional.

Horizonte

Asimov, en su libro, añadía: “¿Qué tiene de emocionante una nada invisible?” Y dedicaba el resto del libro a demostrar que mucho.

Imagínense que lanzan una piedra hacia arriba. Mientras más velocidad le impriman al lanzarla, más alto llegará antes de caer. Si la lanzan suficientemente rápido, la piedra subirá y subirá y no caerá nunca: habrá escapado de la gravedad terrestre. La velocidad mínima que se le tiene que imprimir a un objeto lanzado hacia arriba sin más propulsión para que nunca vuelva a tierra se llama velocidad de escape. Como escribe Miguel Alcubierre, físico de la UNAM, en su artículo “Los agujeros negros” en el número 44 de *¿Cómo ves?*: “es muy importante decir que una nave espacial, o cualquier objeto con propulsión propia —por ejemplo, una persona subiendo

una megaprensa natural capaz producir tales densidades: el colapso gravitacional de una estrella masiva después de hacer explosión.

El radio necesario para transformar un objeto de cierta masa en agujero negro se llama radio gravitacional. Miguel Alcubierre explica: “el radio gravitacional marca la frontera de una región sin retorno: si te encuentras afuera, siempre puedes escapar con una nave lo suficientemente potente. Pero si estás adentro, escapar es imposible y caerás inevitablemente hacia el centro”. Esa frontera se llama también horizonte de eventos: lo que ocurra más allá, jamás se podrá ver ni tendrá ningún efecto. Un hoyo negro es la expresión extrema de la fuerza de gravedad, una región en la que el espacio-tiempo se arruga y se desconecta del resto del Universo, la puerta de escape por la que una estrella —o un millón— puede salir del escenario universal dejando sólo



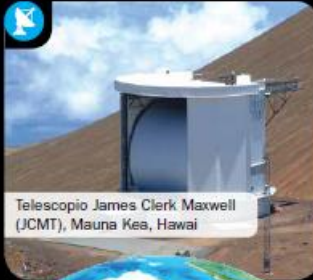
CORO DE TELESCOPIOS

El Telescopio del Horizonte de Eventos (THE)

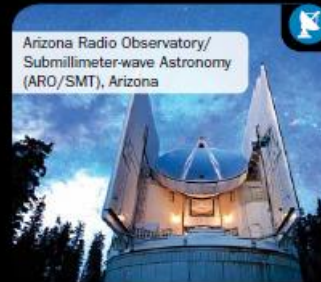
es un conjunto de radio telescopios en distintas estaciones. Con este arreglo se pretende observar el entorno del agujero negro súper masivo de la Vía Láctea.



Submillimeter Array (SMA),
Mauna Kea, Hawaii



Telescopio James Clerk Maxwell
(JCMT), Mauna Kea, Hawaii



Arizona Radio Observatory/
Submillimeter-wave Astronomy
(ARO/SMT), Arizona



Gran Telescopio Milimétrico
(GTM/LMT), Sierra Negra, Puebla



IRAM telescopio de 30 m,
Sierra Nevada, Granada



Atacama Pathfinder
Experiment (APEX)



Atacama Large Millimeter/
submillimeter Array (ALMA)



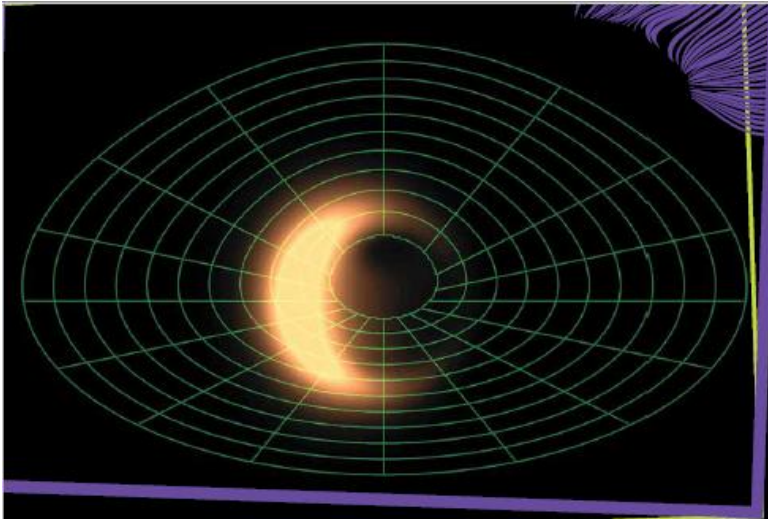
South Pole Telescope (SPT)

Fuente: Revista Science/Event Horizon Telescope

El proyecto THE
es una colaboración de
30 instituciones
en **12 países**
y **8 observatorios**
milimétricos.

El ALMA, en el desierto
de Atacama, comprende
66 radio telescopios
de **12 y 7 metros de**
diámetro.

El equipo del THE
funcionará durante
5 noches entre
el 5 y el 14 de abril de
2017.



Simulación por computadora de cómo se vería un hot spot de gas orbitando un hoyo negro. La fuerte gravedad del hoyo negro distorsiona la apariencia del gas cercano brillante y proyecta una silueta; la red de coordenadas (líneas verdes) también se distorsionan por la gravedad. Imagen: A. Broderick-CITA/A. Loeb-CITA

el oscuro fantasma de su atracción gravitacional. Pero el horizonte de eventos no es una barrera física. Lo que cae no choca contra nada, simplemente se esfuma del Universo, contribuyendo con su masa a incrementar la del hoyo negro.

A eso se refería Asimov cuando escribió que estas nadas invisibles sí son emocionantes.

Coro celestial

El THE es un telescopio virtual. Funciona como el coro virtual del compositor Eric Whitacre, integrado por miles de videos enviados por personas repartidas por todo el mundo, cada una cantando en

trico (GTM), observatorio construido y operado por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, con sede en Tonantzintla, Puebla, y la Universidad de Massachusetts en Amherst. El nombre de este telescopio puede parecer una contradicción. "Gran" se refiere al tamaño: es una antena de 50 metros de diámetro que desde un avión se ve como una flor blanca abierta al cielo en la cima del volcán Sierra Negra. "Milimétrico" le viene de la radiación que está diseñado para captar: ondas de radio de hasta unos cuantos milímetros de longitud de onda (para comparar, las ondas de luz son mil veces más pequeñas y las ondas de radio que usa el sistema Bluetooth son cien veces más grandes). Esta es la radiación que más fácilmente escapa de la vaporosa envoltura de Sagitario A* y que nos permitirá escudriñar el centro de la galaxia con vista de águila.

En los últimos años, además del GTM se han construido muchos otros observatorios de ondas milimétricas, pero hasta la década pasada no había modo de integrarlos en un coro. Hacían falta instrumentos electrónicos más sensibles y precisos, que se desarrollaron apenas recientemente. Al principio, en 2006, Doeleman y su equipo probaron la técnica de coordinar telescopios separados (llamada interferometría) con tres observatorios, situados en Arizona, California y Hawai. Con esa configuración consiguieron vis-

El director del proyecto THE espera obtener una imagen tan detallada de Sagitario A* como si se hubiera tomado con un telescopio del tamaño de la Tierra.

su casa una de las partes vocales de una pieza coral de Whitacre. El compositor pone en YouTube videos de sí mismo dirigiendo la pieza con movimientos de las manos para indicar la duración de cada nota y la entrada de cada voz. Cada persona canta por su cuenta, en su casa, pero todos siguen el video coordinador de Whitacre. El THE es algo parecido, pero en lugar de cantantes, los participantes son radiotelescopios, o conjunto de radiotelescopios, coordinados por relojes maestros ultraprecisos. El director del proyecto, Sheperd Doeleman, del Observatorio Haystack del Instituto Tecnológico de Massachusetts, espera obtener una imagen tan detallada de Sagitario A* como si se hubiera tomado con un telescopio del tamaño de la Tierra.

El año pasado Doeleman vino a México para probar el funcionamiento del THE desde el Gran Telescopio Milimé-

lumbrar lo que pasa cerca del horizonte de eventos de Sagitario A*, pero como si lo vieran con ojos miopes. Con más telescopios y más ampliamente distribuidos se cura la miopía. El proyecto incluye hoy ocho observatorios milimétricos operados por 30 instituciones de investigación de 12 países (aunque los telescopios están en Chile, México, Hawai, Estados Unidos, España y la Antártida). Doeleman y su equipo visitaron todos los observatorios que se fueron sumando al THE a fin de instalarles los nuevos procesadores digitales y grabadoras de datos más rápidas para coordinarlos y hacerlos más sensibles.

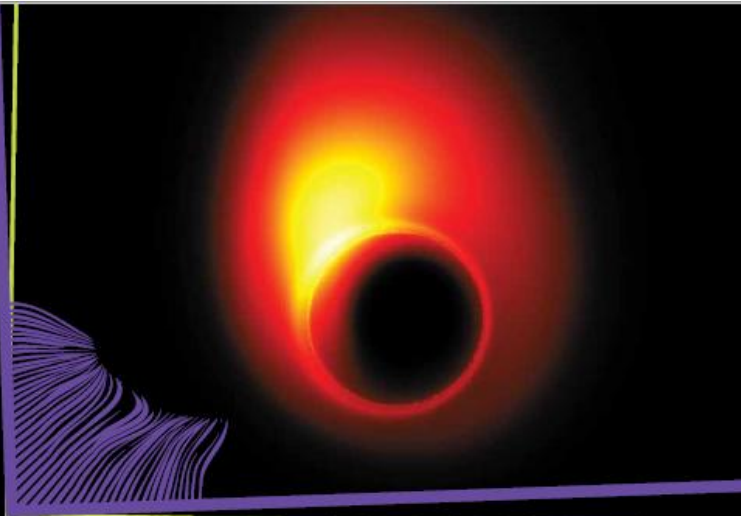
Igual que en el coro de Whitacre, cada estación grabará sus observaciones (en discos duros) y las enviará en avión (imposible despachar tal cantidad de datos por Internet) al Observatorio Haystack y el Instituto Max Planck de Radioastro-

nomía. Alemania, para que unas computadoras entretrejan los datos de todos los radiotelescopios y construyan el cuadro total. Para urdir el tejido completo, las computadoras del proyecto procesarán los datos durante varios meses. Los datos del Telescopio del Polo Sur, situado en la Antártida (pues sí), no se recibirán hasta antes de septiembre u octubre, cuando termine el invierno austral y nuevamente puedan llegar aviones al Polo Sur.

¿Qué verán?

No hay observación sin teoría. Nadie inventa un experimento sin tener por lo menos una idea de lo que espera encontrar. Los científicos del THE tienen más que una idea: simulaciones por computadora de lo que sucede en el complejo entorno del horizonte de eventos y el disco de acreción. O por lo menos de lo que *debería* suceder, si la teoría en la que se basan estas simulaciones es válida en las condiciones de intensa gravedad del horizonte de eventos.

Esa teoría es la relatividad general de Albert Einstein, la teoría de la gravedad por excelencia, pero hay otras. La de Einstein ha pasado todas las pruebas que le han puesto los científicos durante 100 años (véase *¿Cómo ves?* No. 204), la más reciente de las cuales la superó



lado que se acerca y atenúa el que se aleja. De ahí la asimetría que predicen las simulaciones. Si la sombra central que emerge de los datos no es circular, será señal de que la teoría de Einstein no es válida para los campos gravitacionales más intensos.

Por suerte, Sagitario A* no es el único hoyo negro que se puede observar con el THE. La galaxia M87 también tiene un hoyo negro en el centro (y quizá todas lo tienen). La M87 está 2,000 veces más lejos que el centro de nuestra galaxia (a unos 53 millones de años luz), pero su hoyo negro central es tan grande, que se "ve" del

Imagen creada con modelos computacionales para mostrar cómo la gravedad extrema del hoyo negro en M87 distorsiona el remolino de gas cercano al horizonte de eventos; parte de la radiación del remolino se curva en un aro, en cuyo centro está lo que se conoce como la sombra del hoyo negro.
Imagen: Avery E. Broderick (Perimeter Inst.-Univ. Waterloo)

en 2015, cuando la colaboración LIGO detectó las ondas gravitacionales que Einstein predijo en 1915. Ésa fue la primera prueba de la relatividad general en un campo gravitacional muy intenso (el de dos hoyos negros de unas 30 masas solares que se fusionan). La prueba del horizonte de eventos sería la segunda.

El THE comparará sus observaciones con las simulaciones basadas en la teoría de Einstein. Ésta anticipa lo que debería verse cuando las computadoras del equipo completen el tejido: una sombra circular inmersa en un halo de luz con forma de media luna. No se espera ver un resplandor con forma de anillo porque el disco de acreción está girando. Un lado se acerca a nosotros y el otro se aleja (sería demasiada casualidad que el disco estuviera orientado con el eje de rotación apuntando hacia nosotros). El efecto Doppler (el mismo que hace que un vehículo suene más agudo cuando se acerca que cuando se aleja) intensifica el

mismo tamaño en el cielo que Sagitario A*. La M87 es una galaxia activa: de su centro brota un gigantesco chorro de materia que se extiende hasta 5000 años luz en la dirección perpendicular al plano de la galaxia y que emite intensas ondas de radio (véase *¿Cómo ves?* No. 192). Los chorros de las galaxias activas son efecto de la interacción del hoyo negro central con su entorno, pero todavía no se entiende cabalmente el mecanismo generador. Doeleman y su equipo observaron la base del chorro de la M87 en 2012 y publicaron sus resultados en la revista *Science*. Con la nueva configuración del THE esperan ver más detalles.

Los resultados saldrán a principios de 2018. Está en juego la teoría general de la relatividad. Cuando por fin veamos un hoyo negro, la teoría podría superar la última prueba. Después de todo, ha superado todas las otras. Pero también podría fallar, y eso sí que sería emocionante. 🐼

MÁS INFORMACIÓN

- Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica: www.inaoep.mx/noticias/?noticia=278&anio=2015
- Instituto de Radioastronomía y Astrofísica: www.crya.unam.mx/web/index.php/news/756

Sergio de Régules es coordinador científico de *¿Cómo ves?* Sus libros más recientes son *Cielo sangriento* (FCE, Cd. México 2016) y *El universo en un calzoncillo* (Ediciones B, Cd. México 2015).

Anexo 10: Lectura

Abramson, G. (2019). El corazón de las tinieblas, primera observación directa de un agujero negro. Desde la Patagonia, difundiendo saberes, 16, 40-42

DESDE LA PATAGONIA DIFUNDIENDO SABERES - VOL. 16- N° 27 - 2019

ISSN (impresa) 1668-8848 - ISSN (en línea) 2618-5385

DESDE LA PATAGONIA

EL CORAZÓN DE LAS TINIEBLAS. PRIMERA OBSERVACIÓN DIRECTA DE UN AGUJERO NEGRO

por **Guillermo Abramson**

Los agujeros negros son misteriosos y fascinantes. Capturan la imaginación de la gente, científicos o no, y se han ganado un lugar en la cultura popular. ¿Y cómo no, si retuercen el espacio logrando que la luz orbite a su alrededor, y hacen que el tiempo se detenga en su frontera? Durante 100 años imaginamos cómo eran y los calculamos con nuestras teorías, en particular con la Relatividad General de Einstein, que es nuestra mejor teoría de la gravedad.

En cierto sentido, un agujero negro es apenas una geometría: una solución de las ecuaciones de Einstein. Los caracteriza la existencia de un *horizonte de eventos*, una superficie que envuelve una región del espacio desde donde nada, ni siquiera la luz, puede escapar. No podemos verlos, ni ver lo que tienen dentro. Recién a partir de la década de 1960 empezaron a proponerse mecanismos físicos que podían producir agujeros negros en el mundo real, y a reunirse evidencia indirecta de que realmente existían. La clave es que

tengan materia en órbita a su alrededor, ya que los agujeros negros no son aspiradoras cósmicas como a veces se los representa. Su acción gravitatoria permite perfectamente que a su alrededor se muevan en órbita estrellas y gas interestelar. El comportamiento de la materia en condiciones de extrema curvatura del espacio-tiempo, que podemos calcular con las ecuaciones de la física y observar con telescopios, nos permitió convencernos de que efectivamente existían.

Por el movimiento de las estrellas en el centro de las grandes galaxias dedujimos que casi todas parecían albergar agujeros negros gigantes, millones de veces más masivos que el Sol. Alrededor del centro de la Vía Láctea, por ejemplo, vemos moverse estrellas cuyas órbitas permiten calcular la existencia de un objeto de 4 millones de masas solares, designado Sgr

A* ("Sagitario A estrella"). ¿Sería posible ver aunque fuera la silueta de su horizonte de eventos? A pesar de su masa, por encontrarse tan lejos (a 26 mil años luz en la dirección de Sagitario), su horizonte de eventos sería tan pequeño que se necesitaría un telescopio del tamaño de la Tierra para discernirlo. Lo mismo ocurriría con M87* ("eme 87 estrella"), el agujero negro de 6500 millones de veces la masa del Sol, en el centro de la galaxia Messier 87. Se trata de una galaxia mucho mayor que la nuestra, de cuyo centro surge un chorro de partículas subatómicas viajando casi a la velocidad de la luz que se extiende por miles de años luz en el espacio, como si fuera una flecha desafiándonos: "acá está el agujero negro".

Para lograrlo se diseñó el *Event Horizon Telescope*: una colaboración internacional de cientos de científicos que coordinó el funcionamiento de grandes radiotelescopios en ocho observatorios del mundo. El sistema requirió la modificación de muchos instrumen-

tos, todos ellos con apretadas agendas de uso y pertenecientes a distintas instituciones, lo cual sólo pudo lograrse con negociaciones tan difíciles de imaginar como los propios agujeros negros. Todos los radiotelescopios debían observar sus blancos exactamente al mismo tiempo, sincronizando cada uno con un reloj atómico (un máser de hidrógeno, oscilando en la frecuencia de 1420 MHz), y aprovechando incluso la rotación de la Tierra para funcionar, todos juntos, como un único instrumento del tamaño del planeta. Los datos recolectados fueron entregados a cuatro grupos de análisis que trabajaron independientemente y sin comunicación entre sí, en la reconstrucción matemática de una imagen del objeto. Las observaciones se llevaron a cabo en abril de 2017, y el procesamiento de los datos llevó dos años. Finalmente, el 10 de abril de 2019, pudimos ver la foto que pasará a la historia: la primera imagen directa y detallada de un agujero negro, el de M87.

¿Cómo podemos entender esta imagen, que parece un anillo brillante fuera de foco? Naturalmente, no podemos ver el horizonte de eventos, que es negrísimo. Pero, como dijimos, lo que sí podemos ver es la

Guillermo Abramson

Doctor en Física, investigador del CONICET y Profesor del Instituto Balseiro

guillermoabramson.blogspot.com

40

EL CORAZÓN DE LAS TINIEBLAS - ABRAMSON 16 (27): 40-42

DESDE LA PATAGONIA

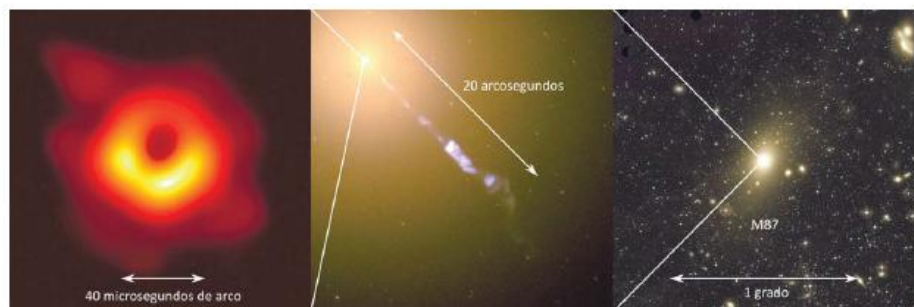


Imagen: EHT, HST, ESO

El agujero negro en el centro de la galaxia M87 (imagen de radio, convertida a colores visibles). Nuestro sistema solar entero cabría dentro de la oscuridad central, pero está tan lejos que el anillo luminoso mide apenas 40 microsegundos de arco en el cielo, equivalente a ver un pelo a 500 km de distancia. Centro: el núcleo de M87 y el chorro que surge del agujero negro central. 20 arcosegundos es como un pelo a 1 metro de distancia. Derecha: La galaxia M87 forma parte del cúmulo de galaxias de Virgo. 1 grado es el doble del tamaño de la Luna en el cielo.

materia que tiene a su alrededor, materia supercaliente y por lo tanto muy brillante. Esta materia forma un disco grueso en órbita alrededor del agujero negro, llamado *disco de acreción*. El disco emite radiación en todo el espectro electromagnético, desde las ondas

deformadas de una manera particular, perfectamente predecible por las ecuaciones de la Relatividad General. De hecho, uno de los aspectos extraordinarios de esta observación es que la imagen obtenida, con esas partes más brillantes y otras más oscuras, es precisa-

de radio hasta los rayos X, pasando por la luz visible. Los radiotelescopios capturaron una banda estrecha de radiación, con longitud de onda de 1,3 mm (en la frontera entre las microondas y el infrarrojo, similar a las microondas que usamos en la cocina). La imagen reconstruida fue convertida a colores visibles para la imagen final. Puede parecer rebuscado, pero la "foto" que sacamos con el celular también es el resultado de un procedimiento matemático aplicado a los datos recolectados por un dispositivo electrónico. La de M87* es una foto en el mismo sentido, tan sólo los detalles son diferentes.

Curiosamente, la oscuridad central que vemos en la imagen tampoco es el horizonte de eventos. Los astrónomos del *Event Horizon Telescope* lo han llamado la "sombra" del agujero negro, si bien no es una sombra en el sentido corriente, como la que produce un objeto opaco al interponerse delante de una fuente de luz. El espacio y el tiempo están tan distorsionados en la proximidad del agujero negro, que toda la luz que pasa cerca se desvía y hasta se enrosca alrededor. El resultado es esta "sombra", un poco más grande que el horizonte de eventos, delimitada por la imagen del disco, y también de fuentes luminosas detrás y delante,

mente lo que esperábamos obtener, a la luz de los cálculos y las capacidades del *Event Horizon Telescope*.

Esta primera observación es apenas el comienzo de una nueva rama de la radioastronomía. El agujero negro de M87 será observado repetidamente, y revelará una dinámica que habrá que entender y explicar. Se podrá también reconstruir su campo magnético a partir de la polarización de la radiación observada, lo que permitirá entender mejor cómo y dónde se forma el chorro de materia y energía que surge de la proximidad del horizonte de eventos y del disco de acreción. La incorporación de más radiotelescopios (incluso algunos en órbita terrestre), y observaciones en longitudes de onda menores que la usada, producirán imágenes de mayor resolución, más "enfocadas". Veremos también el agujero negro en el centro de nuestra galaxia, con similitudes pero también diferencias con el de M87, por ser de tamaños tan distintos. Los agujeros negros en el centro de las galaxias juegan un rol importante en su formación y evolución, y no tenemos una comprensión completa de sus mecanismos. Estas observaciones, además de confirmar la validez de la Relatividad General, contribuirán al entendimiento de otros fenómenos del universo. Por otro lado, el avance

41

EL CORAZÓN DE LAS TINIEBLAS - ABRAMSON 16 (27): 40-42

DESDE LA PATAGONIA

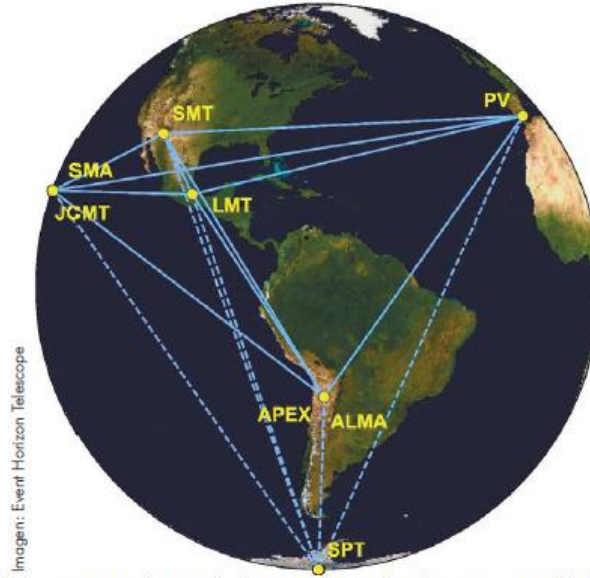


Imagen: Event Horizon Telescope

El Event Horizon Telescope es un sistema de observatorios que funciona como un radiotelescopio con una apertura equivalente al tamaño de la Tierra, gracias a una técnica llamada VLBI (interferometría de base muy larga). Ocho participaron en la observación del agujero negro de M87. El concepto es similar al de "apertura sintética", que permite al satélite argentino SAOCOM obtener imágenes de muy alta resolución de la superficie terrestre (pero el EHT no es un radar, es un telescopio).

en instrumentación y cómputo seguramente impactará también otras ramas de la astronomía y de la ciencia en general.

Alguien se preguntará qué relevancia tiene todo esto en la vida cotidiana. No podemos anticiparlo, pero vale la pena mencionar apenas un ejemplo que viene al caso: el sistema GPS que tenemos en el celular, que permite localizarnos y navegar con tanta precisión, funciona gracias a la Relatividad General. Si le hubieran preguntado a Einstein hace 100 años que aplicación práctica tenía su teoría, aparte de su valor científico, no habría sospechado que, sin saberlo, la usamos todos los días con un dispositivo que llevamos en bolsillo. La misma teoría que nos explica cómo se retuerce la luz alrededor de un agujero negro.

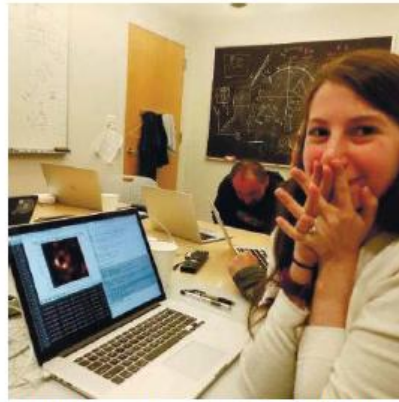


Imagen: Facebook Katie Bouman/ AFP

42

Katie Bouman, emocionada al ver formarse la imagen de M87* por primera vez en la pantalla de su computadora. Bouman es ingeniera, magister en ingeniería y doctora en ingeniería y computación del MIT. Su trabajo (en parte durante la realización de su tesis de doctorado) fue fundamental para el desarrollo del software que, a partir de los datos dispersos que obtienen los radiotelescopios, calculan mediante procedimientos matemáticos y estadísticos la imagen más probable de la fuente, evitando el sesgo las expectativas que se tengan a priori. Su charla TED: youtu.be/BlvezCVcsYs

EL CORAZÓN DE LAS TINIEBLAS - ABRAMSON 16 (27): 40-42

Anexo 11: Presentación “Ondas gravitacionales e imagen de un agujero negro”



Ondas gravitacionales e imagen de un agujero negro

Edgard Sánchez González

*Imágenes tomadas de internet



La gravedad

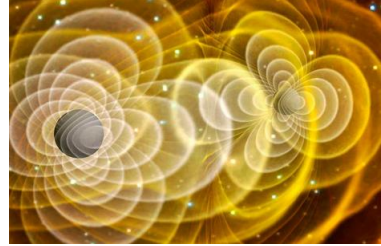
Para Isaac Newton desde la perspectiva de la física clásica la gravedad era la fuerza instantánea que mantenía en órbita los planetas y ocasionaba que las manzanas cayeran de los árboles. Para Albert Einstein en 1915, desde una perspectiva relativista la gravedad no era una fuerza sino una vibración originada por los cuerpos con masa que deforma el espacio tiempo y que no podía ser instantánea porque no puede viajar a una velocidad mayor que la luz.





Ondas que viajan a través del Universo

De acuerdo con la teoría general de la relatividad, si un cuerpo posee una masa lo suficientemente grande se producirán ondas gravitacionales que ocasionarán que otros cuerpos sean atraídos hacia él por efecto de la distorsión del espacio tiempo. Posteriormente los científicos se dieron cuenta que cuando dos cuerpos de masas muy densas y muy grandes se atraen el uno al otro, producen una distorsión del espacio tiempo en espiral que genera ondas gravitacionales que viajan a través del universo.



La gravedad en los orígenes del Universo

Fue mediante la colisión de dos agujeros negros que ocurrió hace cientos o posiblemente miles de millones de años, que en el año 2015 el Observatorio de Ondas Gravitacionales mediante Interferómetro Láser (LIGO por sus siglas en inglés) ubicado en los estados de Luisiana y Washington en los Estados Unidos logró detectar las ondas gravitacionales e incluso las convirtieron a ondas de sonido. Este descubrimiento además de comprobar la hipótesis de Einstein, abre la posibilidad de estudiar e investigar la gravedad en los orígenes del universo.





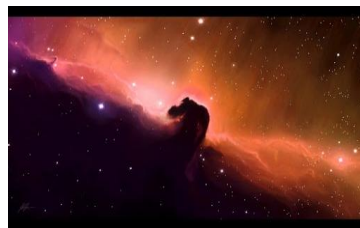
Distorsión del espacio tiempo

Las ondas gravitacionales **son perceptibles porque distorsionan el espacio tiempo, es decir, cambian la distancia que existe entre los objetos**. Cuando viajan a través del universo cambian la distancia que existe entre todos los cuerpos que en él existen (United Space in Europe). En el LIGO fueron detectadas empleando grandes interferómetros, que son tubos en forma de "L" de cuatro kilómetros de largo que están compuestos de un sistema ultra sensible de láseres y espejos que son capaces de detectar las distorsiones del espacio tiempo (CERN). Una onda gravitacional fuerte produce desplazamientos del orden de 10^{-18} metros, es decir, 1000 veces más pequeño que el espesor de un protón (LIGO Scientific Collaboration).



El material que se encuentra en su entorno

Los agujeros negros son regiones del espacio extremadamente densas donde existe un efecto gravitacional tan fuerte que ni siquiera la luz es capaz de escapar de él. Debido a este fenómeno los agujeros negros no pueden ser observados directamente con telescopios convencionales, sino que se estudia el efecto que el agujero negro causa en las estrellas y diverso material espacial que se encuentra en su entorno.





Radiotelescopios

Un radiotelescopio es un instrumento de astronomía, consiste de una antena y un radio receptor que se usan para detectar las radio frecuencias provenientes de diversas fuentes extraterrestres. Pueden funcionar de día y de noche, no tienen problemas de obstrucción de las ondas electromagnéticas, y captan un espectro de onda mayor al visible. En el año 2017 el proyecto “Event Horizon Telescope” obtuvo los datos necesarios para generar la imagen de un agujero negro con 6500 veces la masa del sol, ubicado en la galaxia M87 y que se encuentra rodeado de **una nube de gas caliente** a una distancia de 5×10^{18} kilómetros



Una red de telescopios

La obtención de los datos necesarios para generar la imagen de un agujero negro se hizo con el apoyo del “Event Horizon Telescope”, que es una red de 8 radiotelescopios que trabajan de forma sincronizada para generar un radiotelescopio virtual del tamaño del planeta Tierra. Entre ellos participó el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano, ubicado en la cima del volcán “Sierra Negra”, en el estado de Puebla.





La imagen de un agujero negro

El proceso para generar una imagen de un agujero negro consiste en usar un conjunto de radiotelescopios alrededor del mundo para captar la luz que existe en su entorno, y una vez recolectada la información ésta es procesada para formar una imagen. Los vacíos de información debido al limitado número de radiotelescopios se subsana utilizando algoritmos que ayudan a predecir el dato faltante más probable.



Anexo 12: Cuestionario

Cuestionario

Integrantes del equipo: _____

- 1- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?
- 2- ¿Cómo es que se pueden llegar a escuchar las ondas gravitacionales?
- 3- En tus propias palabras, ¿qué es el color?
- 4- Justifica si el magma emite o no radiación electromagnética

Anexo 13: Resumen de traducción de video

Resumen de traducción del video: “Demostración ondas S y P”

- 01:25 a 03:25 Los estudiantes representan átomos en un sólido unidos por enlaces químicos, ejemplifican que las ondas sísmicas del tipo P son compresionales (llamadas también longitudinales) son y ante una perturbación los átomos vibran en la misma dirección en que la onda se propaga. La energía se transmite de un átomo a otro
- 03:30 a 05:11 Los estudiantes representan átomos en un sólido unidos por enlaces químicos, ejemplifican las ondas sísmicas del tipo S que son de corte (llamadas también transversales), es decir, ante una perturbación los átomos vibran en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda
- 05:20 a 07:18 Los estudiantes representan átomos en un líquido o gas, es decir los enlaces son más débiles. Sin embargo la onda compresional del tipo P muestra el mismo comportamiento que en un sólido. Es decir, las ondas sísmicas compresionales se transmiten a través de cualquier tipo de material
- 07:33 a 08:48 Los estudiantes representan átomos en un líquido o gas, es decir los enlaces son más débiles. Se ejemplifica que una onda de tipo S no puede ser propagada a través de un medio que no sea sólido
 - Si bien las ondas sísmicas son ondas mecánicas que requieren un medio para su propagación, en algunos casos pueden propagarse a través de los fluidos y en otras necesariamente requieren de un medio de propagación en estado sólido

Anexo 14: Lectura

Espíndola, V. H. & Pérez, X. (2018, Julio-Septiembre). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden?. Ciencia, 69, 8-15.



ciencia

Víctor Hugo Espíndola Castro y Xyoli Pérez Campos




¿Qué son los **SISMOS**, dónde ocurren y cómo se miden?

El sueño de los sismólogos es predecir los sismos que pudieran afectar a la población, por lo que dedican muchos estudios a este fin con el objetivo de mitigar sus efectos. Gracias a su esfuerzo y persistencia se logró determinar el origen de los sismos, así como el mecanismo y la dinámica de su generación; también hemos llegado a conocer el interior de la Tierra y la tectónica de placas.

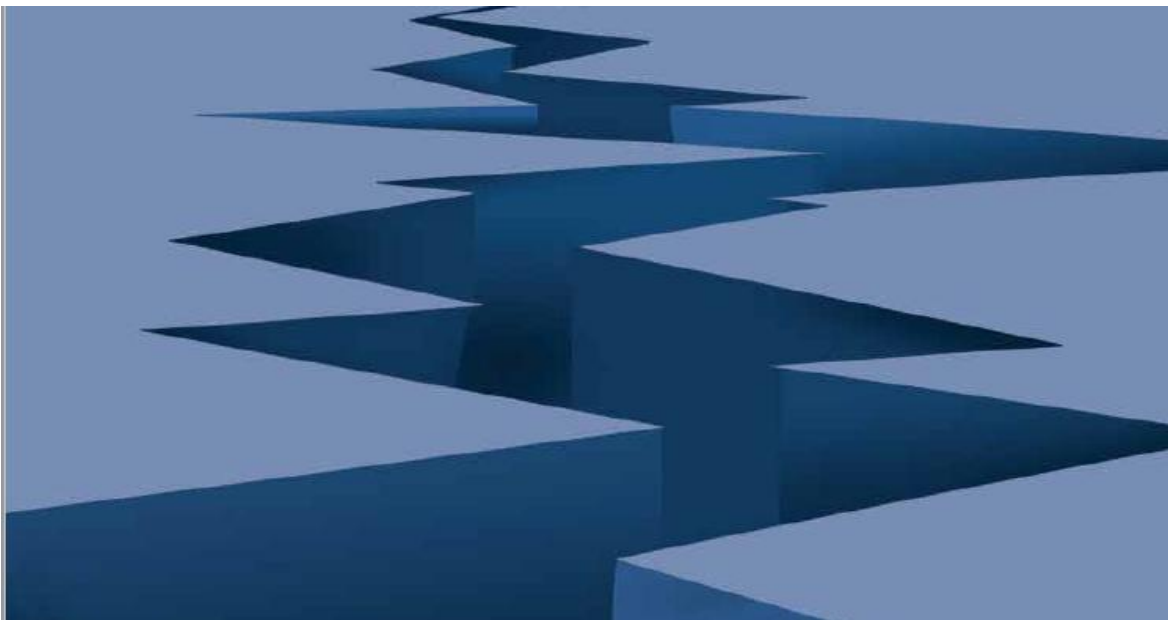
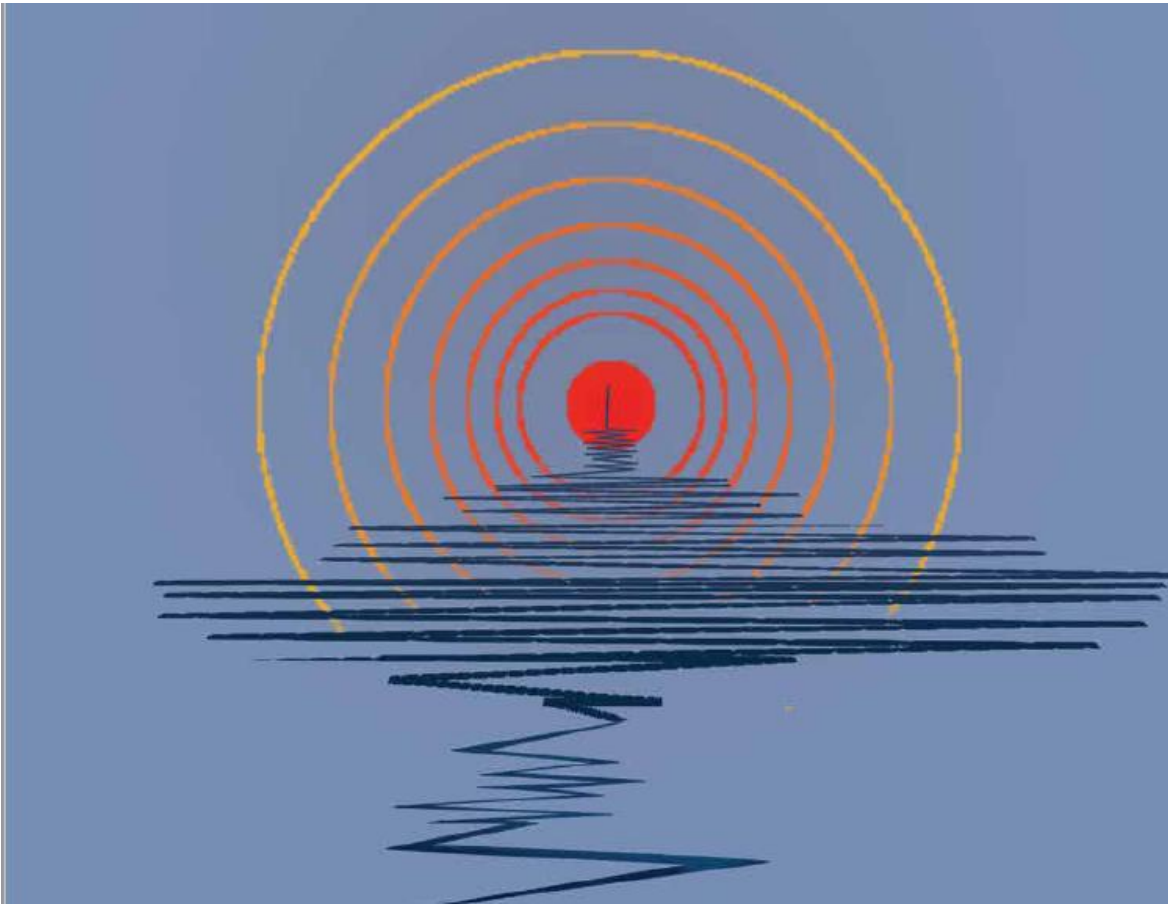
Desde tiempos inmemoriales nuestros antepasados sintieron gran curiosidad por lo que ocurría en su entorno. Sin lugar a dudas, el movimiento inadvertido y brusco del suelo, por ser un evento “invisible”, provocaba gran temor, no sólo por sus efectos, sino también por su origen. El avance científico en este campo relativamente nuevo ha permitido conocer de forma parcial el complejo mecanismo que origina dicho fenómeno; sin embargo, con el incremento de la población y las construcciones, sus efectos se han acrecentado, así como también en muchos se ha extendido el temor a los temblores.

Los inicios de la sismología

 La ciencia de la sismología, como la conocemos ahora, empieza con los primeros registros sísmicos que surgieron a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX con la instalación de sismógrafos (ahora llamados mecánicos) en diversas partes del mundo.

La sismología es una ciencia joven que ha contribuido de manera notable al conocimiento de la estructura de nuestro planeta. Entre las primeras aportaciones están los estudios del núcleo terrestre, realizados por el inglés Richard Dixon Oldham en 1906. Después, en 1936, el estudio de la propagación y velocidad de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra llevó a la sismóloga danesa Inge Lehmann a la conclusión de que existe un núcleo sólido y otro líquido (véase la Figura 1a) con altas temperaturas en el centro del planeta.

Por otra parte, en 1935 el estadounidense Charles Richter había establecido una fórmula para obtener la magnitud y cuantificar el tamaño de un sismo.



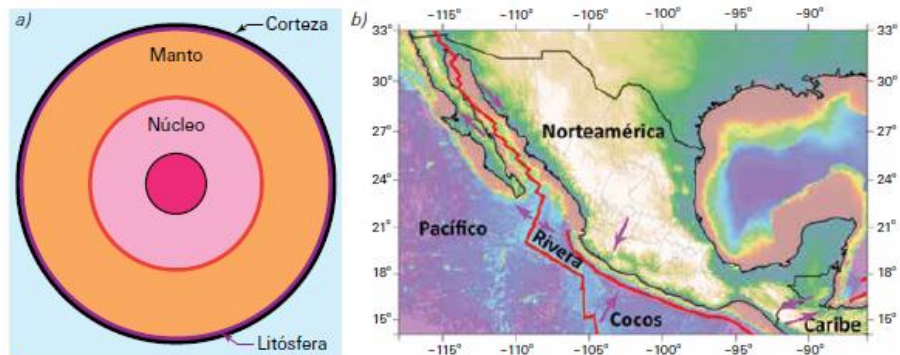


Figura 1. a) Estructura interna de la Tierra. b) Placas tectónicas en México. Las líneas rojas delimitan las placas y las flechas moradas indican el movimiento relativo entre ellas.

Placas tectónicas

Otra notable y valiosa contribución fue la explicación de la tectónica de placas, que involucra a la corteza terrestre. El núcleo de nuestro planeta está constituido primordialmente por hierro y níquel, aunque otras características en cuanto a su estructura y composición aún son materia de estudio. La parte media, llamada manto, está hecha sobre todo de silicatos ferromagnesianos. La parte externa de

movimientos relativos diferentes de cada una de las placas; un buen ejemplo es la placa de Norteamérica, con movimiento hacia el sureste, y la placa de Cocos, con movimiento al noreste, y cuyos límites han dado lugar a una zona de subducción.

Larga y complicada es la historia evolutiva de las placas tectónicas, desde su conformación inicial hasta su configuración actual. En nuestro caso, la República Mexicana está constituida por cinco pla-

la Tierra es la litósfera, conformada por la corteza y parte del manto; tiene un espesor variable que puede llegar hasta los 100 km, y un comportamiento similar a un cuerpo rígido que flota y se va desplazando "a capricho" del movimiento lento interno del manto. Dicho movimiento se debe a corrientes de convección, producidas por la diferencia de temperaturas entre la región cercana al núcleo (~3000 °C), donde los compuestos del manto son más ligeros y tienden a subir, y la más cercana a la corteza (~1000 °C), donde sus compuestos son más pesados y tenderán a bajar. Así, después de algunos miles de millones de años, se ha dado forma a lo que hoy conocemos como continentes y océanos.

El movimiento interno del manto provoca que la litósfera no sea continua sobre la superficie de la Tierra, sino que esté formada por diferentes segmentos. Ello da lugar al nombre de placas litosféricas, o placas tectónicas. El contacto entre ellas se debe a

cas tectónicas (véase la Figura 1b): Pacífico, Norteamérica, Caribe, Rivera y Cocos. Esta última es la más famosa de todas; aunque no es la más grande del planeta, es donde se origina la mayor sismicidad. Por encontrarse en las costas del Pacífico mexicano, afecta las propias entrañas de nuestro país.

Pero vayamos al norte de México, donde las placas del Pacífico y Norteamérica tienen gran fricción entre ellas. La del Pacífico se mueve en dirección noroeste, mientras que la de Norteamérica lo hace hacia el sureste (véase la Figura 1b). La península de Baja California, principal testigo de este movimiento, desde hace más de 12 millones de años se ha alejado lentamente del continente, lo que ha dado origen al Golfo de California. También es una región de gran actividad sísmica, producto de fallas casi verticales en donde cada uno de los lados se desplaza horizontalmente en direcciones opuestas; a este tipo de fallas se les llama de rumbo o laterales.

Por su parte, la placa de Rivera en su frontera noroeste es de tipo *divergente* (Figura 1b); es decir, la separación corresponde a dorsales o bordes donde sale a la superficie nuevo material para formar piso oceánico, mientras las placas se mueven en direcciones opuestas. El movimiento entre la pequeña placa de Rivera y la de Cocos provoca cierta sismicidad, aunque mucho menor que la ocasionada por ambas cuando se desplazan bajo la placa de Norteamérica, o la segunda bajo la del Caribe, en un proceso *convergente* que se llama subducción.

■ Los sismos

■ La teoría de la tectónica de placas ayuda a comprender el porqué del movimiento relativo entre ellas; también, cómo esa gran deformación y fuerzas de fricción se originan en las fronteras de la corteza. Esto provoca que el material del que están constituidas las placas finalmente se fracture y provoque, en la mayoría de los casos, desplazamientos súbitos o perturbaciones, lo cual constituye la antesala de lo que en la superficie terrestre se conoce como un sismo.

El movimiento relativo entre las placas tectónicas origina que grandes esfuerzos se concentren principalmente en sus límites y se deforme el medio. Esto funciona como grandes resortes que van acumulando energía potencial –a lo que en sismología se le llama energía sísmica–. Se acumulará tanta como el límite elástico del medio lo permita, hasta que se rompa, se fracture o se disloque, es decir, se desplace súbitamente y origine un sismo. Este proceso elástico y dinámico fue estudiado en 1906 por el geofísico estadounidense Harry F. Reid, después del sismo de San Francisco. Sus observaciones en esta zona donde se encuentra la falla de San Andrés, le permitieron proponer formalmente la teoría del rebote elástico (véase la Figura 2a).

Los temblores se originan por movimiento, fricción y deformación de las placas tectónicas. El primero provee energía, el último la almacena, y la fricción es un precursor importante en el proceso.

Dado que un sismo es el efecto de una perturbación que ocurre ya sea en la superficie o en el interior de la Tierra, al lugar donde se origina la perturbación se le conoce como fuente sísmica, foco o hipocentro.

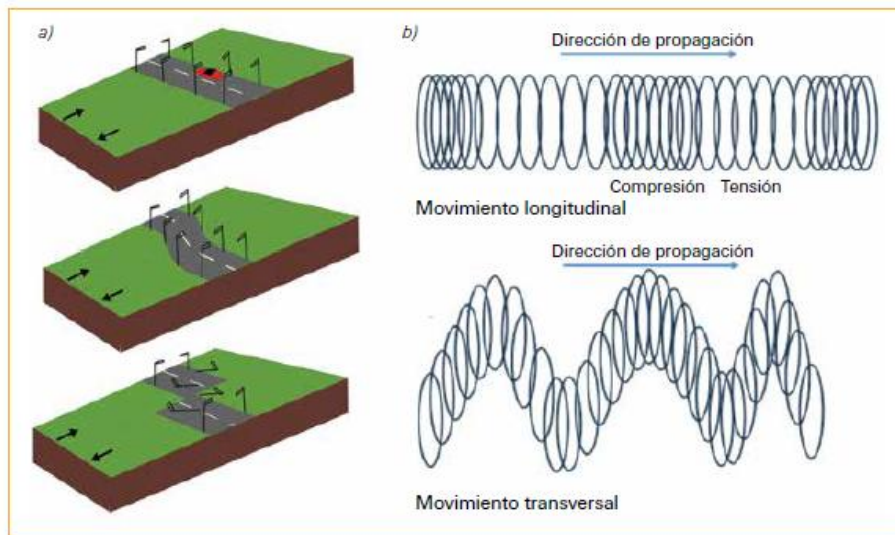


Figura 2. a) Teoría del rebote elástico. b) Ondas de cuerpo: longitudinales (ondas P) y transversales (ondas S).

La fuente sísmica puede deberse al choque de un meteorito, explosiones o colapsos; pero nosotros hablaremos de las que son de origen tectónico.

El fallamiento de las rocas consiste en la liberación repentina de los esfuerzos impuestos al terreno; de esta manera, la Tierra es puesta en vibración. En palabras llanas, un sismo son ondas que se propagan por el medio terrestre y provocan dicha vibración. En los sólidos pueden transmitirse dos tipos de onda. El primero es conocido como onda compresional, porque consiste en la transmisión de compresiones y tensiones; también se le conoce como longitudinales, debido a que las compresiones y tensiones se dan a lo largo de la trayectoria de la onda. El segundo tipo son las ondas de cizallamiento o transversales, precisamente porque las partículas del medio se mueven de manera perpendicular a la trayectoria. La Figura 2b muestra la propagación de estas ondas en un medio elástico. Las ondas compresionales viajan más rápido que las transversales, de tal forma que a cualquier sitio llegarán en este orden, por lo que se les denomina ondas P y ondas S (ondas primarias y ondas secundarias). Por ejemplo, la velocidad de la onda P en materiales como el granito es de 5.20 km/s y la velocidad de la onda S es de 3 km/s. Ambas tam-

bién son conocidas como ondas de cuerpo o internas, porque pueden viajar dentro de un sólido elástico.

Si se está cerca de la fuente sísmica, la diferencia entre tiempos de arribo de las ondas P y S será pequeña; esta diferencia aumentará conforme uno se aleje de la fuente. De esta manera, con registros de diferentes estaciones sismológicas, es posible determinar dónde es el epicentro (latitud y longitud), además de su profundidad.

Sismógrafos

Los primeros sismógrafos fueron ideados a finales del siglo XIX (véase la Figura 3a). En nuestros días estos instrumentos han alcanzado un alto grado de sofisticación, aunque siguen utilizando el principio físico del movimiento pendular. Hasta hace pocos años, los registros sísmicos eran tiras de papel sobre un tambor en movimiento, donde una plumilla inscribía el movimiento del sismógrafo (véase la Figura 3b).

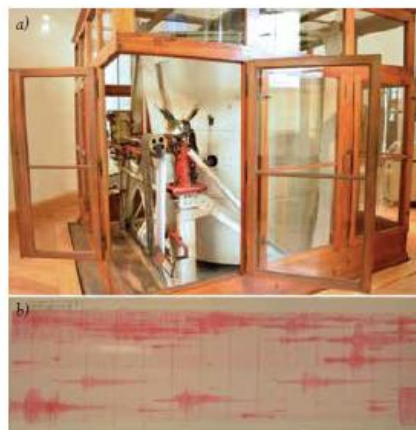


Figura 3. a) Sismógrafo horizontal Wiechert; el gran cilindro blanco es una masa de 17 toneladas suspendida por tres puntos. Éste se encuentra en exhibición en el Museo de Geofísica de la UNAM. b) Registro del 19 de septiembre de 1985 en la estación de Pinotepa Nacional, Oaxaca. Hasta arriba se aprecia el registro del sismo de magnitud 8.1 de esa mañana, cuyo epicentro fue en las costas de Michoacán.

Ahora los registros, o sismogramas, son digitales (véase la Figura 4a); pero la forma de localización

de los sismos es la misma, y consiste en tener la información de al menos tres estaciones sísmicas diferentes (véase la Figura 4b). Cada estación registra la llegada de las ondas P y S; la diferencia de tiempo de arribo entre ellas dependerá de la distancia del epicentro al sismógrafo, por lo que para cada estación se puede trazar un círculo. La intersección de los tres indica la región epicentral.

Magnitud e intensidad

Las escalas de magnitud e intensidad se utilizan para cuantificar y medir los temblores. La magnitud fue originalmente propuesta por Charles Richter en 1935, quien estableció una ecuación logarítmica. Existen varios tipos de magnitud, estimados a partir de diferentes fases sísmicas. Hoy la más usada es la magnitud de momento sísmico (M_w), que se determina a partir de la cantidad proporcional al área de ruptura (esto es, al tamaño de la falla geológica que

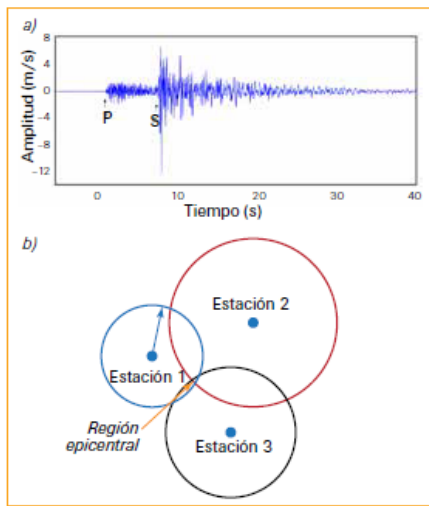
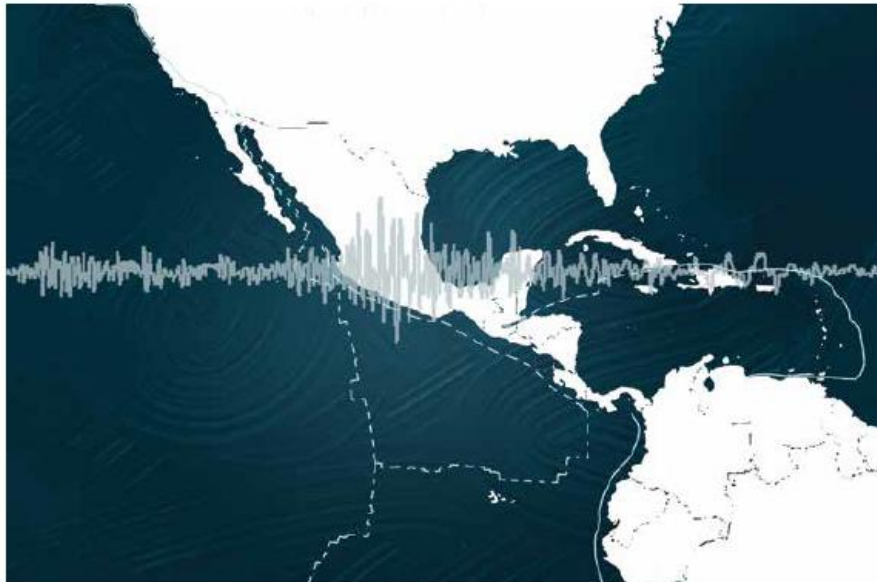


Figura 4. a) Registro digital de un sismo. Se identifican los arribos de las ondas P y S. b) Método de triangulación para determinar la localización de la fuente sísmica. El radio de cada círculo es proporcional a la diferencia de tiempos de arribo de las ondas P y S.

se rompió) y al deslizamiento que ocurra en la falla. Su estimación es compleja y puede llevarse a cabo empleando diversos métodos y tipos de datos. Esta magnitud fue propuesta en 1979 por los sismólogos Thomas Hanks y Hiroo Kanamori, del Instituto de Tecnología de California. La magnitud también refleja la cantidad de energía liberada en el sismo. Entre cada unidad de magnitud hay una diferencia de 32 veces; por ejemplo, un sismo de magnitud 8.0 irradia 32 veces más energía que uno de 7.0 de magnitud y 1024 veces más que uno de 6.0 de magnitud.

Por otro lado, los primeros intentos para clasificar los temblores se hicieron a partir de sus efectos. En 1902 el físico italiano Giuseppe Mercalli propuso una tabla –revisada en 1931, a la cual se le llama escala modificada de Mercalli– que consta de 12 niveles, expresados en números romanos. El I indica que el movimiento sólo fue sentido por algunas personas. La escala llega hasta el XII, que se refiere a la destrucción total. Los datos generados de la escala modificada de Mercalli son muy útiles,





principalmente para los constructores; sin embargo, hoy los registros sísmicos de aceleración proporcionan mayor información respecto al comportamiento del suelo, por lo que esta escala es poco usada para ese fin.

Los sismos más importantes en México

Desde 1900 en el país se han registrado 83 sismos mayores de 7.0 de magnitud, cuatro de ellos han sido mayores o iguales a 8.0 de magnitud. La Figura 5 muestra los sismos más importantes en el centro-sur del país. Los sismos más grandes, ambos de 8.2 de magnitud, sucedieron el 3 de junio de 1932 en las costas de Colima y Jalisco, y el 7 de septiembre de 2017 en el Golfo de Tehuantepec. El primero fue un sismo de subducción y ocurrió en el contacto de las placas de Rivera y Norteamérica; el segundo fue un sismo intraplaca en la de Cocos.

Por su parte, la Ciudad de México ha experimentado dos sismos que causaron grandes daños y un número considerable de pérdidas humanas; por casualidad, ambos ocurrieron un 19 de septiembre.

El primero fue en 1985, tuvo una magnitud de 8.1 y fue de subducción, entre las placas de Cocos y Norteamérica. El segundo ocurrió en 2017, tuvo un magnitud de 7.1 y fue un sismo intraplaca, en la de Cocos.

En la Figura 5 se pueden apreciar otros sismos, marcados en azul, que también han sido importantes. Éstos no ocurrieron en el límite entre placas ni dentro de la placa subducida, sino también fueron intraplaca, pero se llaman corticales, pues tienen su origen dentro de la placa continental (en nuestro caso, la de Norteamérica).

Comentarios finales

Los sismos son resultado de la acumulación de esfuerzos y deformaciones que se producen principalmente por el movimiento de las placas. Nuestro país se encuentra en el marco de un contexto tectónico complicado, por lo que es proclive a la ocurrencia de sismos grandes. Si bien son más comunes los que tienen origen en el contacto entre las placas que subducen (Rivera, Cocos y Norteamérica), también

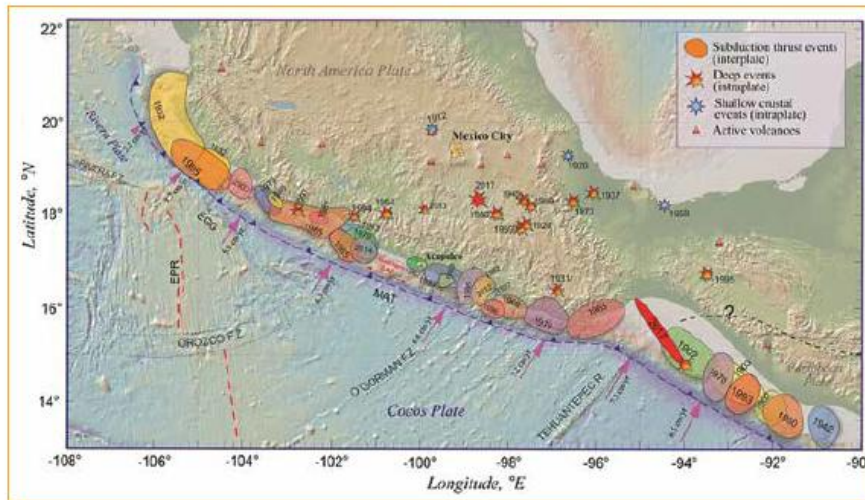


Figura 5. Sismos más importantes del centro-sur de México desde 1900. Figura modificada de Kostoglodov y Pacheco (1999).

pueden ocurrir sismos dentro de las placas, con epicentros en el continente, más cerca de las poblaciones. Por lo anterior, es importante estar preparados para recibirlos.

Víctor Hugo Espíndola Castro

Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica,
Universidad Nacional Autónoma de México.
victore@sismologico.unam.mx

Xyoli Pérez Campos

Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica,
Universidad Nacional Autónoma de México.
xyolipc@sismologico.unam.mx

Lecturas recomendadas

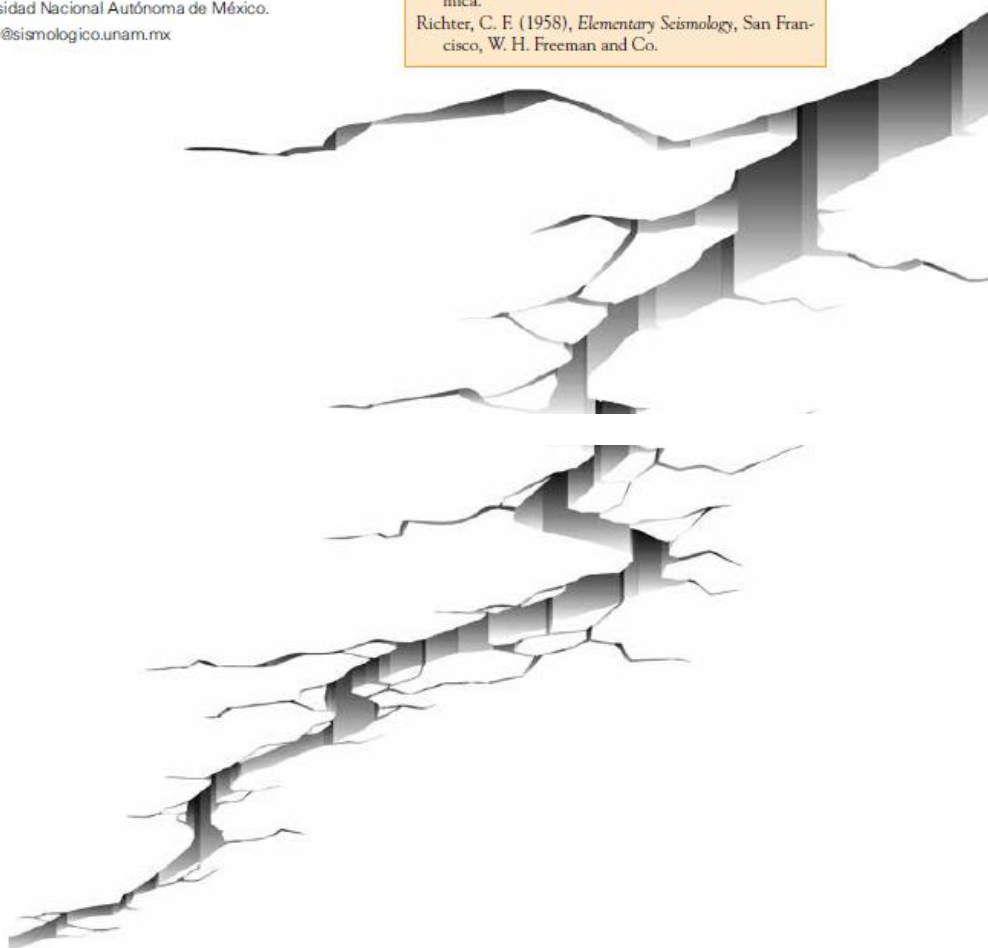
Cruz Atienza, V. M. (2013), *Los sismos. Una amenaza cotidiana*, México, La Caja de Cerillos.

Espíndola, J. M. y Z. Jiménez (1984), *Terremotos y ondas sísmicas* (Cuadernos del Instituto de Geofísica, núm. 1), México, UNAMS.

Kostoglodov, V. y J. F. Pacheco (1999), "Cien años de sismicidad en México", *Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Disponible en: <<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>>. Consultado el 14 de abril de 2018.

Nava, A. F. (1987), *Terremotos* (La Ciencia desde México, núm. 34), México, Fondo de Cultura Económica.

Richter, C. F. (1958), *Elementary Seismology*, San Francisco, W. H. Freeman and Co.



Anexo 15: Lectura

Marcial, U. (1996, Enero-Marzo). Popocatépetl. Vivir en riesgo. Ciencias, 41, 50-55

No. 41 ENERO-MARZO 1996

Popocatépetl. Vivir en riesgo



UAN MARCIAL

Cada año entran en actividad entre 50 y 65 volcanes en el mundo, pero sólo unos cuantos son responsables de daños y pérdidas de vidas humanas. Así, los efectos sobre la población no son necesariamente proporcionales al tamaño o violencia de la erupción, sino a la proximidad y can-

tidad de los asentamientos humanos instalados en los alrededores del volcán.

México se sitúa en una región con gran actividad volcánica. De los aproximadamente tres mil volcanes que existen en su territorio, 14 son los que han tenido actividad histórica reciente; algunos ejemplos son el Parícutín (1943), el Chichón (1982), el Tacaná (1986) y el Volcán de Colima, con gran actividad en los últimos años.

Sin duda, el Popocatépetl es, con sus 5452 metros de altura sobre el nivel del mar y su majestuosa y ancestral belleza —más de 700 millones de años—, un volcán de alto riesgo. A lo largo de su historia, ha hecho numerosas erupciones me-

nores, algunas mayores y ha producido algunos grandes eventos paroxismales, que son los de mayor peligrosidad porque liberan mucha energía en corto tiempo. En el periodo de 1993 a 1995, la naturaleza de la actividad parece ser la misma que la desarrollada en doce episodios reportados desde el siglo XVI: erupciones freáticas que liberan grandes cantidades de gases magmáticos y que arrastran materiales viejos depositados en el conducto volcánico.

Los especialistas explican que en diciembre de 1994 parte del gas localizado en la cámara magmática encontró camino hacia el exterior a través de un ducto que llega al cráter. Al momento de salir lo erosionó y arrojó ceniza vieja. Si hubiera sido ceniza nueva, la actividad del volcán hubiera representado un mayor peligro. Todo lo que los especialistas pudieron observar emana de ese sitio, pero aún no se puede hablar de una forma ni mucho menos de un conducto bien definido. Aún son eventos muy dispersos, por lo que se requiere investigar más.

Hoy, agregan, el Popocatépetl —“el cerro que humea”— permanece en equilibrio estacionario y su actividad eruptiva quizás no varíe en meses o en años. A pesar de ello, ahora está vigilado con 11 estaciones de monitoreo que cuentan con inclinómetros y sismómetros, útiles para

medir las causas y las deformaciones del edificio volcánico. Además, entre otros estudios, se hacen monitoreos geoquímicos sobre la composición de gases, cenizas y otros productos que escupe de sus otras llamadas infernales profundidades.

Las precauciones no son para menos, pues una erupción mayor a la del 21 de diciembre de 1994, directa e indirectamente, afectaría, amén del fuerte impacto económico, 28 municipios circundantes y el Distrito Federal, aproximadamente 16 mil km², donde habitan más de 21 millones de personas: 40.2% se ubica en el Distrito Federal; 39.7% en el Estado de México; en Puebla, 10.8%; Morelos, 5.4%; Tlaxcala, 3.3% e Hidalgo, 0.7%.

Ninguno de los eventos anteriores —incluidos los reportados desde el siglo XVI— parece corresponder a una actividad magmática mayor, por lo que podría concluirse que las emisiones actuales no representan mayor riesgo. No obstante, la posibilidad de una erupción magmática explosiva existe. Si bien tal posibilidad puede ser relativamente menor para un evento explosivo mayor, sus riesgos deben considerarse en los programas de prevención de desastres y en cualquier otro plan de desarrollo nacional o regional.

Lo invisible

A partir de enero de 1995, luego de “la crisis de diciembre de 1994”, a decir del doctor Servando de la Cruz, del Instituto de Geofísica, la situación del volcán es estable, porque la posible fuente de perturbación, que proviene de las partes más profundas, no ha sido mayor a la capacidad del volcán para liberar su energía; por tanto no existe, hasta ahora, una situación de peligro extremo.

Si al acumularse la energía en su interior el volcán no tuviera capacidad para liberarla de manera suave, como lo hace ahora, el equilibrio se rompería y el escenario sería de mayor riesgo. La posible ruptura de ese equilibrio dependerá de las razones por las que se esté generando

la energía en las partes profundas del volcán. Una razón sería la introducción de magma nuevo en esas zonas. La mezcla de éste con el magma viejo provocaría rápidamente una acumulación de energía que podría desembocar en una erupción grande. Sin embargo, agrega De la Cruz, a largo plazo no se puede afirmar nada, ni siquiera asignar probabilidades estadísticas, ya que no sabemos qué pasa en la profundidad.

A fin de observar qué tipos de procesos se están dando en esas profundidades, se hacen monitoreos continuos, de corto plazo, de días o semanas. Con base en ellos, quizás podremos detectar con anticipación suficiente si esa mezcla de magmas ocurre, si se acelera o si se incorpora magma nuevo. Aparentemente, en el fondo del volcán y de sus conductos no hay una acumulación grave de energía. Pero, reitera, no se puede predecir ni afirmar nada; son procesos que ocurren a grandes profundidades (más de diez km), y no hay equipos que permitan una mayor precisión.

Luego de definir el Popocatepetl como un estratovolcán maduro que tiene la capacidad de permanecer en calma por periodos largos o evolucionar hacia fases más peligrosas, el especialista sostiene que en materia de vulcanismo no existe la periodicidad. Algunas cifras que se manejan pueden clasificarse como el valor medio de frecuencia, pero sólo deben verse como eso, como el valor medio de la distribución de estos eventos en un tiempo mucho más complejo.

La actual actividad eruptiva del Popocatepetl nos recuerda, dice, que el riesgo está ahí, ha estado ahí y seguirá ahí, porque siempre existirá la posibilidad de que se reactive; por ello, debemos tomar todo tipo de precauciones. Sin embargo, si llegara a presentarse un fenómeno eruptivo mayor, concluye De la Cruz, afortunadamente ya existen mejores condiciones científicas y técnicas para atenuar el riesgo y reducir la vulnerabilidad de la población circundante.

Lo visible

La moderada actividad sísmica y fumarólica del volcán iniciada en 1993 condujo a instalar estaciones de monitoreo. Cuatro operaron durante la pasada crisis y registraron la actividad del volcán. A la fecha, en un trabajo conjunto entre los institutos de Ingeniería y Geofísica de la UNAM y el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), el sistema de monitoreo está equipado con 11 estaciones telemétricas, ocho de ellas cuentan con sismómetros y tres con inclinómetros; en el CENAPRED se cuenta con un centro de adquisición y procesamiento de datos.

El maestro Roberto Quaas, coordinador de Instrumentación del CENAPRED, amplió la información sobre estos equipos y explicó los diversos tipos de monitoreo que se hacen del Popocatepetl: vigilancia visual, monitoreo sísmico, geodésico y geoquímico.

La vigilancia visual consiste en observar las manifestaciones físicas del volcán,

tales como derrumbes o deslaves, deformaciones, fumarolas, emisiones de ceniza y gases o cualquier otra que indique cambios perceptibles. Para realizar este monitoreo se instaló una cámara de video, enfocada hacia el lado norte del volcán, la cual envía directamente su información al CENAPRED. La imagen se registra —de día y noche— y se analiza cualquier variación ocurrida.

El monitoreo sísmico es de los más importantes. A través de las vibraciones que mide y registra se puede inferir dónde se generan y localizan los hipocentros, o puntos interiores del volcán donde se libera la energía. Así, se pue-

de saber dónde se encuentran los cuerpos magmáticos abajo del volcán. En el caso del Popocatepetl la actividad sísmica se desarrolla en la frontera de ese cuerpo magmático, entre los tres y diez km de profundidad abajo del cráter, fundamentalmente al centro del volcán, con una ligera tendencia hacia el Este (Puebla). Hasta ahora, se sabe de la existencia de ese magma, pero no sus dimensiones, su evolución ni dónde se libera la energía.

Con la información que se obtenga con este tipo de monitoreo, teóricamente se podría calcular cuál es la forma de ese cuerpo magmático, detectar si la tendencia del magma es a subir o a abrir caminos hacia otros conductos, cómo evolucionará y a qué profundidad está la actividad sísmica. Si se encuentra a 20 o 30 km significa que hay movimiento de las estructuras profundas; la posibilidad de que a esa cámara se le inyecte magma nuevo, proveniente del manto, aumentaría los riesgos de una erupción.

La actividad sísmica del volcán es sólo a nivel local y no debe existir ninguna

preocupación de que emigre o se manifieste en fenómenos como grandes terremotos, porque es producto de la existencia de un magma que trata de salir y cuya presión genera fracturas y eventualmente emisiones de gases.

Lo importante de este tipo de monitoreo es que proporciona una muy buena imagen de lo que ocurre en el volcán y puede anunciar la generación de un evento ya sea de magnitudes eruptivas menores o mayores, aunque eso aún no se puede definir.

Para el monitoreo geodésico contamos con tres estaciones, cada una con dos aparatos —llamados inclinómetros—, que registran la inclinación o deformación que sufre el terreno a consecuencia de la presión ejercida



desde el interior del volcán. Su aplicabilidad y efectividad se basa en la hipótesis de que una erupción grande será precedida por deformaciones significativas del edificio volcánico. Las medidas también se hacen con métodos geodésicos convencionales (nivelación, triangulación, trilateración, inclinometría, etc), por gravimetría y por métodos electrónicos, como son los sistemas de posicionamiento global (GPS). Los inclinómetros son dispositivos colocados sobre una base de concreto que miden variaciones en la inclinación, provocadas por algún tipo de presión. Su sensibilidad permite percibir variaciones de milésimas de grado.

El monitoreo geoquímico se refiere al análisis químico de gases, fumarolas, manantiales, composición de cenizas, lavas y otros productos del volcán. Otras variables asociadas que también se monitorean son los vientos, temperaturas, precipitación, pH y emanación de gas radón. La utilización de equipos de espectrometría de correlación (COSPEC) es fundamental para medir la concentración del bióxido de azufre emitido por el volcán.

La Universidad de Miami y la

mación se transmitirá a diferentes centros de estudio para su análisis; entre ellos el Instituto de Geofísica.

También se instalarán tres estaciones sismológicas digitales de banda ancha, equipos de muy alta resolución, cuya información será de gran importancia para la investigación. Así, el Popocatepetl será uno de los primeros en contar con este tipo de instrumentos para medir su actividad volcánica.

La finalidad de toda esta compleja infraestructura, concluye el maestro Quaa, es la de anticipar un evento eruptivo mayor y prevenir desastres originados por este fenómeno.

Lo teórico

Con base en los estudios hasta ahora realizados en los depósitos derivados del Popocatepetl, se han identificado los siguientes peligros potenciales para las poblaciones aledañas: flujos y oleadas piroclásticas y explosiones dirigidas; flujos de lodo y sus transformaciones; derrumbes gigantes del edificio volcánico (avalancha de escombros); caída de material

mejores conocimientos sobre la calidad del aire en esta región y de los factores climáticos y meteorológicos, así como sobre los efectos que un posible incremento de contaminantes sólidos, como las partículas de ceniza, tendrían en la salud de la población.

Por la peligrosidad que representa una posible erupción, algunos especialistas elaboraron un *Mapa de riesgo volcánico*, el cual divide en tres las zonas de alto riesgo: la **Zona 1**, la más cercana al volcán, tiene el mayor riesgo pues, independientemente de la magnitud de la erupción, puede ser afectada por flujos de material volcánico a altas temperaturas que descienden a grandes velocidades (100-400 km/h) y por flujos de lodo y rocas que se mueven siguiendo los cauces existentes a velocidades menores de 100 km/h. Asimismo, debido a la caída de materiales volcánicos, esta zona podría ser afectada por cantidades importantes de arena volcánica y pómez, cuyas acumulaciones alcanzarían varios centímetros, en el caso de erupciones pequeñas, y varios metros con bloques de hasta 30 cm en erupciones muy grandes. En esta área, en promedio, han ocurrido dos erupciones importantes cada mil años.

NASA, en colaboración con el Instituto de Geofísica de la UNAM, trabajan en un proyecto para instalar varias estaciones con receptores GPS en el volcán, que miden con mucha precisión variaciones del nivel del terreno. Esta tecnología forma parte de un proyecto de la NASA para monitorear diferentes volcanes en todo el mundo. La técnica GPS se utiliza generalmente para conocer la ubicación de algún punto sobre la Tierra con gran precisión. Para fines del estudio del volcán, si el sitio donde está instalado el receptor GPS ha sufrido alguna deformación o cambio de posición en el espacio, la infor-



piroclástico y proyectiles balísticos; emisión de derrames de lava y posibles domos asociados. De manera preliminar, se considera que los flujos piroclásticos y de lodo, por su frecuencia y carácter destructivo, son los más peligrosos para las poblaciones circundantes.

En el caso de una gran erupción y si cambia la dirección de los vientos, el principal riesgo para la Ciudad de México sería el aumento de la contaminación atmosférica por las grandes cantidades de cenizas volcánicas que serían expulsadas. Es necesario, por tanto, tener

La **Zona 2** representa un peligro moderado debido a que es afectada por erupciones con menor frecuencia, los cuales se han dado, en promedio, diez veces cada 15 mil años. En esta área, el espesor de la arena volcánica podría variar de un milímetro hasta un metro en caso de una erupción pequeña o grande.

La **Zona 3**, considerada como la de menor peligro, abarca un área que ha sido afectada en el pasado por erupciones extraordinariamente grandes—muy difíciles de darse—, por lo que el peligro es menor en relación con las zonas uno y dos. Para esta zona habría acumulación de varios centímetros de ceniza sólo con una erupción grande. En los últimos 40 mil años han ocurrido diez erupciones de este tipo.

De acuerdo con los especialistas, los límites de cada área fueron trazados con

base en el alcance máximo de los productos originados en erupciones pasadas y se ampliaron sus bordes en varios kilómetros para un mayor margen de seguridad.

Un estudio realizado después del 21 de diciembre de 1994 sobre la ceniza que hasta ahora ha arrojado el Popocatepetl establece que el volumen de ésta se ha acumulado en las laderas del volcán (de uno a 20 mm a una altura de cuatro mil y cinco mil 300 msnm aproximadamente). A medida que la ceniza se aleja del cráter, el tamaño de las partículas disminuye, de tal forma que a elevaciones menores de los 3 500 msnm prácticamente es como talco. Sin embargo, debe considerarse que si el fenómeno se prolonga durante algunos años o si llegara a ocurrir la caída de cenizas a cantidades considerables del orden de cinco o más centímetros durante un lapso de tiempo corto, entonces seguramente formaría un lahar o flujo de lodo que dañaría algunas poblaciones cercanas.

En cuanto a peligros por derrumbes gigantes y flujos de lodo, éstos sólo podrían darse si una parte del edificio vol-

convocó a los responsables de protección civil de los estados de Puebla, Estado de México, Morelos, Tlaxcala y del DDF para elaborar un programa conjunto que facilitara la coordinación entre todas las autoridades involucradas ante un posible escenario de alto riesgo.

Como resultado de lo anterior, se elaboró el *Plan operativo Volcán Popocatepetl*, en el que se incluyen y definen las responsabilidades de cada uno de los estados y las instrucciones a seguir. Lo primero que destaca es la organización de la gente y después el adiestramiento para realizar simulacros.

A la fecha, se han efectuado simulacros en todas las áreas de riesgo del Popocatepetl y en todas las rancherías y ciudades circundantes se ha presentado la exposición itinerante y un video titulados *En presencia de un volcán*.

El *Plan operativo Volcán Popocatepetl* se perfeccionó hasta llegar al *Mapa de planeación de emergencias*, en el cual se sectorizan todas las zonas de riesgo para que se evacúe a la población según las necesidades de cada sector y sus riesgos. Con

jamiento y de protección a la población porque puede ser inminente una erupción volcánica de magnitud considerable.

Se cuenta, asimismo, con el *Diagrama de activación del plan operativo. Toma de decisiones*, en el que se especifica qué debe hacer cada sector. Este diagrama lo tienen todos los científicos, las autoridades ejidales, municipales, policías, vigilantes, bomberos, etcétera. Paralelamente, se envían documentos técnicos normativos a todos los responsables de protección civil. Por su parte, la comunidad académica, además de monitorear permanentemente el volcán, trabaja en busca de mejores tecnologías y sistemas de comunicación.

Actualmente se tiene una campaña de información para que la población en riesgo conozca qué es una situación de normalidad y de alerta; qué debe hacer en caso de una situación de riesgo, dónde ir, cuál es la ruta de evacuación, dónde están los albergues. Se trata, pues, de prepararla y enseñarla a convivir con el riesgo, ya que no la vamos a poder mover de ahí.

cánico se desploma, lo cual causaría un gran derrumbe cuyo material se desplazaría a una velocidad de 100 km por hora hasta una distancia de aproximadamente 80 km, destruyendo todo a su paso. Durante los últimos 40 mil años se produjeron dos grandes derrumbes hacia el sur del volcán que cubrieron áreas extensas. Una erupción grande o un derrumbe gigante estaría acompañado de flujos de lodo e inundaciones de gran alcance.

A decir del licenciado Ricardo Cice-ro, coordinador del Departamento de Difusión del CENAPRED, a raíz de la erupción moderada del 21 de diciembre de 1994, se han tenido avances muy significativos en materia de protección civil y de prevención de desastres.

Explicó que desde junio de 1994 se estableció, una campaña dirigida a la población afectada en la zona del volcán, por medio de folletos, trípticos impresos o videos. Paralelamente, el CENAPRED

base en este mapa, y de acuerdo a lo que suceda, se haría la evacuación por partes o general. La comunidad científica desarrolló un *Código de alertamiento volcánico*, el cual fue traducido por el CENAPRED como el *Semáforo de alerta volcánica*. El lenguaje de ese código se reduce, para términos prácticos, al manejo de los colores de un semáforo: verde, amarillo y rojo. El verde representa normalidad, y no alteran las actividades cotidianas de la población. El amarillo significa alerta fase en la cual se encuentran algunos poblados, pero se pueden realizar las labores de manera normal; no obstante, estos sectores deben informarse continuamente de cualquier cambio en la condición del volcán. El rojo significa alarma, y consiste básicamente en aplicar las acciones de ale-

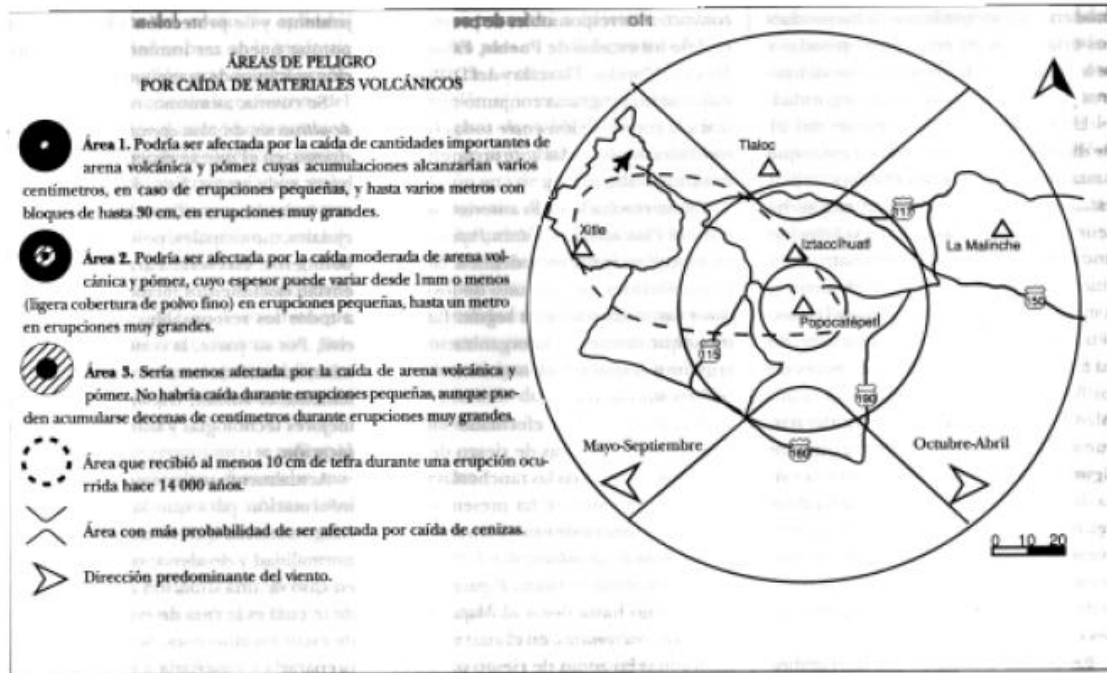
Lo real

Bajo el volcán el color de la vida es el color del olvido, el hambre y la miseria. Aquí, el romanticismo y la fantasía se alejan para sólo dar paso a un poco de cielo y a un mucho de esperanza a la que los

pobladores se aferran para vencerse a sí mismos día con día de que no hay peligro de nada, pues desde siempre la amenaza de la muerte ha sido parte de su existencia. Ella tiene permiso.

"Ya 'tamos acostumbrado y sabemos que no pasa nada, porque monte no quiere que pase nada. Siempre ha'chado humito. Eso ya es antigua", dice el viejo Nicolás, nativo del pueblo de San Pedro de Benito Juárez, Puebla, ubica-





do a 2 350 metros sobre el nivel del mar y en la zona de mayor riesgo por su cercanía al cráter del Popocatepetl.

Mezclando palabras de "castilla" y de náhuatl, el viejo Nicolás agrega convencido: "Pero 'ora Gregorio 'nojó más porque hace un tiempito lo montó mujer, mujer lo pisó, y Gregorio es hombre y mujer no debe montarlo, porque Gregorio es hombre, por eso 'nojó más". (Don Nicolás se refiere a que recientemente unos alpinistas llegaron hasta la cima del volcán. Entre ellos iba una mujer que —a decir de él— no debió subir).

Como producto de la fantasía, el mito, la creencia y la realidad, se tiene también la versión, quizás más generalizada, de que Don Goyo "el viejito", como también lo llaman, se enojó porque el ex presidente Salinas quiso vender a los japoneses todo el azufre del cráter.

A pesar del ruido y movimientos bruscos del camión que nos trasporta al pueblo por un camino descuidado de terra-

cería, el viejo Nicolás escucha atento mi perorata sobre la necesidad de prepararse para cualquier contingencia.

Con la sabiduría que le dan los años y su vida bajo el volcán, afirma: "información no sirve, pa' qué, si monte no quiere matarnos, al contrario, él nos cuida porque es el ombligo del mundo. Si avienta cosa, ésa va a dar allá lejo o se va por barranca, tenemo barranca; sólo si se rompe, enton's sí, pero no se rompe, no quiere. Yo me voy a morir aquí, no voy a dejar pueblo como quieren los de la ciudad. Muchos se fueron 'ora que Gregorio 'nojó y dejaron casa, tierra y animalitos. Cuando regresaron no encontraron nada, enton's digo pa' qué voy allá. Mejor quito ceniza y trabajo. Monte va a seguir ahí cuidando pueblo. Tú joven; yo viejo. Aquí 'tamos. Y mañana aquí, mis hijos y tus hijos, porque monte no quiere dañar, no quiere matar".

Nicomuceno, un joven emigrante de San Pedro, sonrío y escucha, pero no se atreve a participar. "Yo no sé, yo vengo

llegando de México; allá es donde busco la vida; casi no estoy aquí", responde invariablemente a todas mis preguntas.

"Yo no voy pa' llá. Aquí voy a morir pero de viejo y quiero que monte me cuide como en vida", concluye don Nicolás. Este sentir es similar al de muchos otros habitantes de este pueblo sin calles, drenaje y agua, uno más de los olvidados por el centralismo gubernamental.

Don José, de oficio albañil, dice que no pasa nada con el volcán, que siempre ha estado así, por lo que ya están acostumbrados y hacen su vida normal. "Antes cuando me daban trabajo para hacer una casa no quería la gente que le echaramos losa; hoy ya muchos, sobre todo los que reciben dinero de su parientes que trabajan en Nueva York, Chicago o Los Angeles, juntan para su losita, porque aquí se van a quedar pues saben que no pasará nada".

De información sobre los riesgos por la reactivación del volcán, afirma que ellos

no han recibido absolutamente nada, ni un cartel ni por la radio local ni folletos.

Nada, dice enfática doña Mari, dueña de una de las tantas tiendas del pueblo cuya variedad de productos se constriñe a tres cosas de cada uno: tres Sabritas, una burlona Pepsi *light*, tres cajas de "dulcitos", tres jitomates, muchos refrescos porque aquí no hay agua; cuatro velas y tres varas de ocote para encender el *tlecuil*, todos ellos bañados por una capa de polvo y olvido que remarcan la marginación y el abandono.

Señala molesta que los de Protección Civil "solo vinieron una vez, estuvieron como media hora con los hombres del pueblo viendo que un video o no sé qué y después se fueron, y ya nunca más regresaron. De lo demás que usted dice nada". Nada es la misma información que tienen algunos niños de la primaria y la telesecundaria local interrogados al respecto.

Para el profesor Teodoro Romero Carreón, director de la Escuela Primaria Himno Nacional, la versión es otra: "la población, diría yo, está sobrebombardeada de información proporcionada por gente de Protección Civil, de la SEP—en el caso de los docentes—, y del Consejo Estatal de Seguridad; hemos visto los videos de información, conferencias, los

responsables. Si tienen miedo. Están conscientes que deberán evacuar, si se da el caso, pero van a esperar hasta el final.

Los niños, quienes por su pobreza sólo comen una vez al día —cuando mucho dos—, a decir del profesor Romero Carreón, están convencidos de la necesidad de evacuar si las condiciones son difíciles. En un futuro próximo, gracias a ellos, la mentalidad de los pobladores cambiará.

Algunas de las medidas preventivas concretas son la emisión de credenciales con todos los datos personales de cada niño en todas las poblaciones aledañas al volcán, porque no se sabe cuándo puede darse un problema de mayor magnitud.

A todos los directivos y autoridades locales se les proporcionaron las rutas, formas y tiempos de evacuación; la evacuación total debe darse entre ocho y diez horas. La gente debe llevar todos sus documentos personales, escrituras de propiedades y un poco de dinero y ropa, nada más. A San Pedro de Benito Juárez le corresponde la ruta Axocopa-China-meca-Champusco-Matamoros, donde estará un albergue; las indicaciones vendrán de las principales autoridades, se las darán a conocer y las unidades de transporte se concentrarán en el palacio

de la Universidad Nacional, con mentalidad diferente, a trabajar, casa por casa, para hacerles entender de otra manera los riesgos que se viven y no atemorizarlos, porque además ellos no tienen miedo y la mayoría está dispuesto a morir en su tierra, pase lo que pase".

Aquí las tierras se mueren despacio como en muchos lugares de la República; las cenizas del volcán las torna aún más pegajosas y tristes. En eso pensamos, cuando el profesor Romero Carreón nos despide con un "vayan allá, a su universidad; díganles que existimos y que en San Pedro necesitamos de su auxilio".

Epilogo

México es tierra de desastres latentes y de fenómenos naturales que no podemos controlar ni frenar, por lo que debemos prepararnos a fin de disminuir sus efectos negativos. Ayer fueron inundaciones, sismos y fenómenos climáticos; hoy es el Popocatepetl. A pesar de ello, en México no existe una cultura del desastre ni planes o simulacros para desalojar grandes ciudades. El reto hacia el futuro, entonces, es adquirir una mayor conciencia sobre la prevención de desastres de toda índole.


mapas de evacuación, de simulacros; tenido reuniones con los científicos en Atlixco; por radio, en el noticiero local de las seis de la mañana, se nos informa sobre la actividad del volcán y sus riesgos".

Según el profesor Teodoro, lo que sucede es que la gente ve el problema a largo plazo, asume que hay peligro, pero no aceptan que puede darse de un día para otro. El arraigo y la religión impiden su sensibilización y son algunas de las razones del porqué muchos habitantes no aceptan abandonar sus casas a pesar del peligro. Dicen, sobre todo los evangélicos y los Testigos de Jehová, que Dios no lo va a permitir, que por eso oran, y que con fe nunca pasará nada. No, no son irres-

municipal, al igual que toda la población. Si esto se da en el día y en horas de clase, los niños ya están prevenidos para una evacuación inmediata.

Toda esta información se les ha proporcionado por medio de reuniones efectuadas durante 1995 con los especialistas y las autoridades correspondientes.

La población, reitera Romero Carreón, ya no necesita más conferencias, ha sido sobreinformada, los simulacros ya no los ven como tales: "Los maestros no podemos hacer todo. Necesitamos del auxilio de todos. Algo que creo debería hacerse, es que vengan otras personas —ahora que lo comenta, puede ser gente de servicio social

Con toda su majestuosa y ancestral belleza, el riesgo está ahí, ahí ha estado y ahí seguirá, por lo que debemos aprender a vivir con él. 

Ilustraciones de Vicente Rojo

Bibliografía

- Lugo Hubp, José. 1993. *La superficie de la Tierra. Un vistazo a un mundo cambiante*. La ciencia desde México, FCE, México.
- Padilla Gordon, Hugo. 1995. "El Popocatepetl. Un gigante que despierta", en *México desconocido* 215.
- UNAM-Cenapred. 1995. *Volcán Popocatepetl. Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995*. México.
- Yarza de De la Torre, Esperanza. 1992. *Volcanes de México*. IG/UNAM, México.

Anexo 16: Presentación “Ondas mecánicas y electromagnéticas”



Ondas Mecánicas y Ondas Electromagnéticas

Edgard Sánchez González

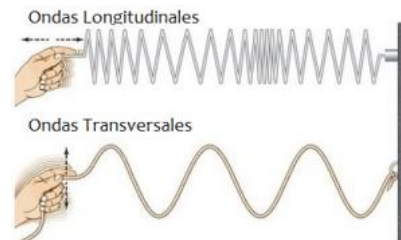
*Imágenes tomadas de internet



Ondas Mecánicas

Las ondas mecánicas son perturbaciones sobre un sistema en equilibrio que se pueden propagar en una, dos o tres dimensiones, transportando energía y su característica fundamental es que su forma de propagación es a través de la materia, lo que muchos autores llaman “el medio deformable”. Pueden ser:

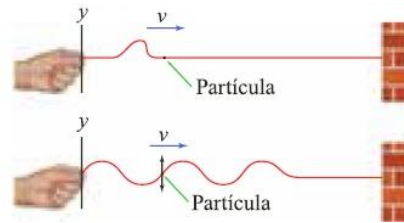
- Longitudinales: La partícula se mueve en dirección a la propagación
- Transversales: Forman un ángulo recto respecto a la dirección de la velocidad





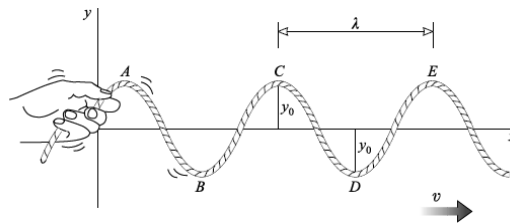
Pulsos y ondas periódicas

Otro aspecto importante es que si en el sistema se genera solo una perturbación, la consecuencia será que se producirá solo una onda, la cual pasará y enseguida el sistema recobrará su estado de equilibrio, en otras palabras se producirá “un pulso”. Si la perturbación se repite conservando las mismas características se producirá lo que se conoce como una “onda periódica”, cuyas características serán las de un movimiento armónico simple



Definiciones acerca de las ondas

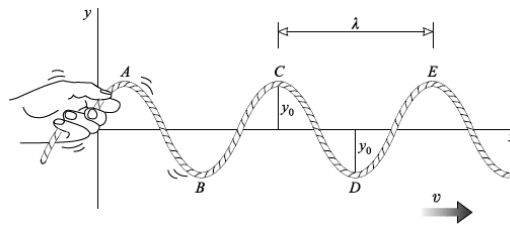
- Los puntos sobre la onda se mueven con una velocidad v
- Si nos ubicamos sobre el eje x , los puntos máximos de la onda reciben el nombre de “crestas”, en este caso son los puntos A,C,E. De forma análoga los puntos mínimos reciben el nombre de “valles”, en este caso los puntos B, D.
- Se define al periodo T [s] como el intervalo de tiempo que tarda un punto sobre la onda en completar un ciclo completo





Definiciones acerca de las ondas

- La frecuencia f [Hz] es el número de ciclos por segundo: $f = \frac{1}{T}$
- La amplitud y_0 [m] es la longitud de la máxima deformación que experimenta la onda
- Por longitud de onda λ [m] se entiende que es la longitud que existe entre dos puntos de la onda medidos en el sentido del movimiento, por ejemplo sería la longitud que existe entre los puntos C,E, o B,D.



Por definición, la velocidad angular:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Por deducción, la relación entre la velocidad de la onda, la fuerza que origina la perturbación, y la masa por unidad de longitud de la cuerda es μ [Kg/m]:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$



Velocidad del sonido en diferentes materiales*

ESTADO	MEDIO	VELOCIDAD DEL SONIDO (m/s)
Gaseoso	Aire (20°C)	340
	Hidrógeno (0°C)	1.286
	Oxígeno (0°C)	317
	Helio (0°C)	972
Líquido	Agua (25°C)	1.493
	Agua de mar (25°C)	1.533
Sólido	Aluminio	5.100
	Cobre	3.560
	Hierro	5.130
	Plomo	1.322
	Caucho	54
Vacío	Vacío	0

*Tomado de Internet



Ondas electromagnéticas

Una de las características fundamentales que diferencian a las ondas mecánicas de las electromagnéticas es que estas últimas pueden propagarse sin necesidad de un medio, es decir, también pueden propagarse a través del vacío. las ondas electromagnéticas son longitudinales al igual que las ondas mecánicas que se mueven a la velocidad de la luz, por lo que existe una relación directa entre la frecuencia y la longitud de onda que se establece mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda * f = c \text{ donde } c \text{ es la velocidad de la luz}$$



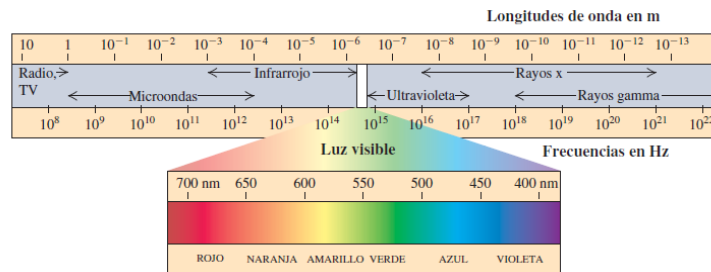
El espectro electromagnético

Existe una variedad muy amplia de ondas electromagnéticas, de diferentes longitudes de onda y de diferentes frecuencias, que en conjunto se conocen como espectro electromagnético, del cual en pequeña porción forma parte la luz visible. Cuando todas las longitudes de onda que conforman el rango de luz visible concurren a un mismo tiempo se forma la luz blanca. Las ondas electromagnéticas tienen un comportamiento análogo con las ondas mecánicas, incluso así como en éstas últimas existen ondas longitudinales y transversales



El espectro electromagnético visible

- En cuanto a la luz, que usamos para ver y para tomar fotografías, es llamada luz visible. En otras palabras es el tipo de onda electromagnética irradiada con una longitud de onda de entre 400 y 700 nanómetros. La luz visible y no visible se produce con movimiento de los electrones de los átomos, y éste estado de excitación se puede provocar al suministrarles una corriente eléctrica o calor





¿Entonces, el gas que rodea al agujero negro fotografiado y el magma de los volcanes, emiten radiación y son del color que vemos debido a su temperatura?

Sí, por el efecto de “la radiación de cuerpo negro” (los cuerpos calientes que emiten luz). Los cuerpos sólidos calientes emiten radiación en forma de luz, por lo que en la región del espectro visible, el color de un cuerpo está en función de su temperatura. Fue el físico alemán Max Plank quien propuso por primera vez el término de cuanto así como el hecho de que la energía absorbida o irradiada es descrita por la siguiente ecuación donde E representa un cuanto de energía, f la frecuencia, y h representa la constante de Plank:

$$E = f * h$$

$$h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ J s}$$



La expresión de Wien

Un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de que se encuentra en equilibrio termodinámico).

La expresión de Wien es una relación que se emplea para estimar la temperatura de las estrellas en función de la longitud de onda de la radiación de mayor intensidad

Real Life – Black Body



$$\lambda_{max} = \frac{0.0029 \text{ Km}}{T}$$

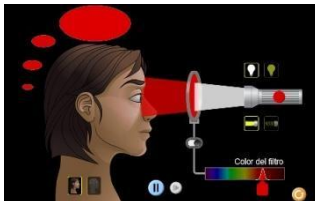
Anexo 17: Ejercicio numérico y simulación computacional

Ejercicios Sesión 5 Integrantes del equipo: _____

- 1- Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de un cuanto de radiación electromagnética y estima la temperatura del magma con la expresión de Wien. Nota: Investigar la información que se necesite



- 2- Ejecuta la simulación “color visión”, toma una captura de pantalla y explica por qué si se proyecta luz blanca sobre el filtro rojo la persona percibe la luz de color rojo



Anexo 18: Evaluación final

Evaluación final

Nombre: _____

- 1- ¿Te gustó la dinámica que se presentó en estas sesiones?
- 2- ¿Te interesaría profundizar en el conocimiento de los temas expuestos?
- 3- ¿Te convenciste de que los temas del programa de Física tienen aplicación tanto en la investigación como en la vida cotidiana?
- 4- ¿Le aconsejarías a algún compañero (a) estudiar Física o alguna una carrera relacionada?
- 5- ¿Encontraste beneficios en el trabajo en equipo o consideras que hubieras trabajado mejor solo (a)?
- 6- ¿Es posible suspender momentáneamente el efecto de la gravedad en la Tierra o es un efecto que siempre está presente? Explica
- 7- ¿Te llamó la atención la naturaleza de un agujero negro? ¿Qué es un agujero negro?
- 8- Menciona que característica de la propagación de las ondas te permitiría identificar rápidamente una onda mecánica de una onda electromagnética
- 9- ¿La luz es una onda o es una partícula?, Justifica tu respuesta
- 10- Resuelve el siguiente ejercicio:

Experimentalmente se encuentra que la longitud de onda de una onda sonora en cierto material es de 18 cm. La frecuencia de la onda es de 1900 Hz. ¿Cuál es la rapidez de la onda sonora?

- 11- Factoriza la siguiente ecuación:

$$7x^2 + 21x = 28$$

- 12- Encuentra la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$2x + 3y = 20$$

$$x - 2y - 3 = 0$$

Evidencias

Preguntas de la evaluación diagnóstica

Jimena C.A. ENP 4

Evaluación diagnóstica

1- ¿Te gusta leer?

Si, Si me gusta leer

2- ¿Qué libros has leído últimamente?

Leí cuentos de Inés Arredondo, Poetas italianos del siglo XX y releí mi libro favorito las sirenas sueñan con trilobites

3- ¿Consideras que entiendes lo que lees?

Si

4- ¿Cuál es la materia del bachillerato que más te ha gustado?

Me gusta mucho dibujo constructivo, matemáticas, dibujo en cuarto año, y de quinto disfrute mucho salud y literatura

5- ¿Qué licenciatura piensas cursar?

Diseño industrial

6- ¿Tienes algún familiar que haya estudiado ciencias o ingeniería?

Si, mi papa estudio ingeniería química

7- ¿Consideras que estudiar Física te puede servir para algo en la vida?

Si, mucho y mas para la carrera que quiero estudiar, los diferentes tipos de máquinas, como funcionan, como realizar mecanismo en caso de querer elaborar un producto, para la posición en caso de construir algo incluido un lugar, que herramientas me ayudan a mantenerlo en equilibrio, etc.....

8- ¿Qué temas de Física te gustaría que se vieran en clase?

Me gustaría ver cómo podríamos calcular los trabajos de diferentes tipos de máquinas, o los diferentes tipos de energía, cual nos conviene más, para que y como se podrían utilizar para aprovecharlas mejor

9- ¿Te interesas por los nuevos descubrimientos científicos?

Algunas veces si

10- ¿Te gusta estudiar solo(a) o en equipo, y por qué?

Creo que puedo trabajar bien en ambas, pero por el hecho de que estamos trabajando en línea prefiero trabajar individual ya que es mas complicado ponerse de acuerdo

11- Si en este preciso momento estuvieras en el espacio, sin traje espacial ni nave, ¿Qué piensas que le sucedería a tu cuerpo y por qué?

Primero siento que no podríamos respirar por la falta de oxígeno, después si no mal recuerdo nuestro cuerpo explotaría debido a la presión

12- ¿Recuerdas que unidades tiene la Energía en el sistema internacional?, ¿Crees que se podría expresar en esas unidades el aporte energético de los alimentos que consumes?

Si, Joules, si recuerdo que en cuarto año hicimos un trabajo sobre eso, calcular la energía que obteníamos al comer algún producto y lo mediamos en Joules

13- ¿Alguna vez has soltado un objeto y éste se ha quedado suspendido en el aire durante una fracción de segundo antes de caer?, en caso de que te haya sucedido, ¿A qué crees que se debe?

Creo que no, a menos que tenga algo que lo permita volar o flotar, por ejemplo, mi hermano tiene un dron, el cual si le pones la mano debajo un instante flota pero cae después, me imagino que es por que tiene ya un mecanismo y alas que permiten que resista un poco

14- ¿Conoces lo que es un agujero negro?, proporciona una breve explicación

Son como nubes formadas por los restos de la explosión de una estrella, estas toman la forma de un agujero, tiene la capacidad de atraer toda la materia hacia su interior

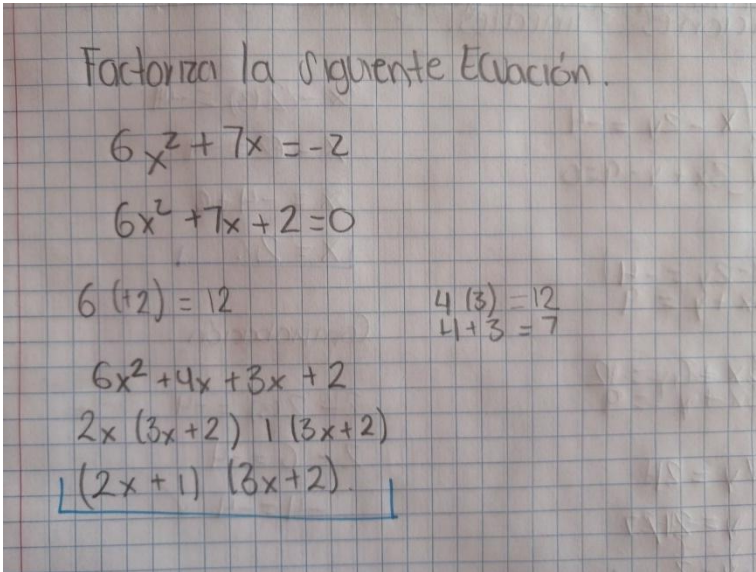
15- ¿Qué opinión tienes del video que se te pidió que observarás? ¿Consideras que los agujeros negros son un tema actual?

Me parece importante que ese tipo de descubrimientos sean reconocidos, creo que el estudio del espacio es uno de los mas complicados y merece mucho reconocimiento.

Claro, el espacio es un lugar enorme de muchísimos descubrimientos, siempre hay algo nuevo para saber de él, nuestro planeta es parte de este y es necesario conocer que hay dentro, si algún cuerpo nos puede beneficiar o afectar

16- Factoriza la siguiente ecuación:

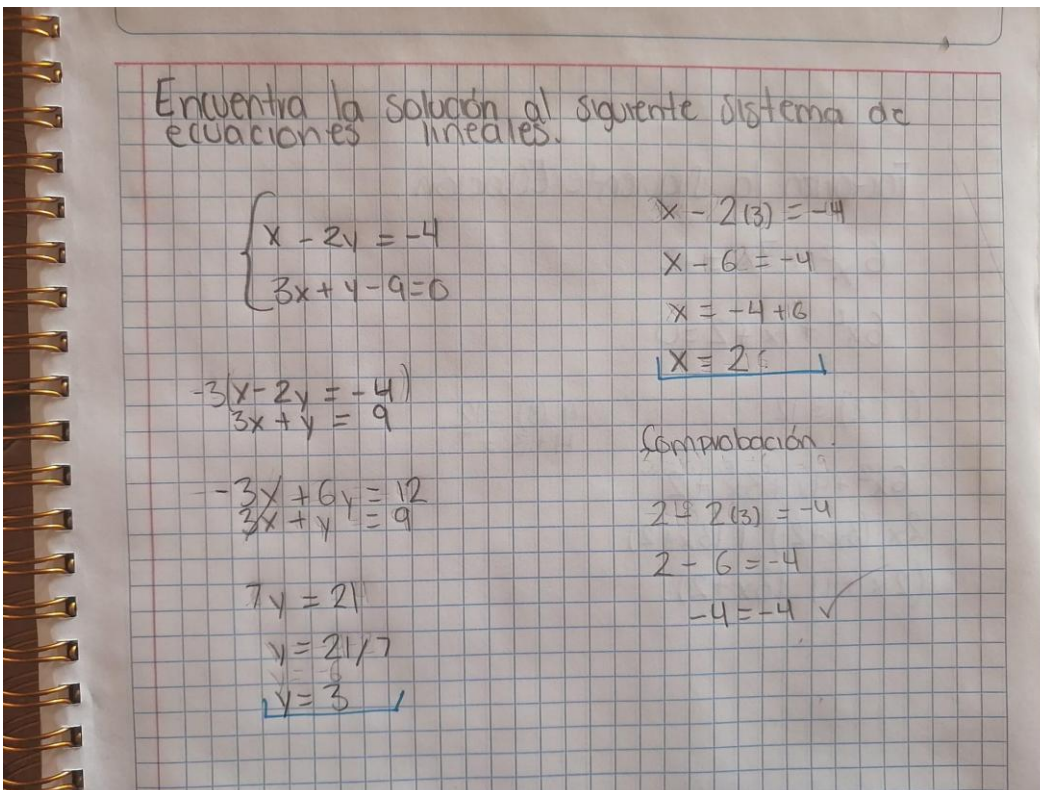
$$6x^2 + 7x = -2$$



17- Encuentra la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$x - 2y = -4$$

$$3x + y - 9 = 0$$



Sesión 1 – Evaluación diagnóstica **Nombre: Aureliano P. S. CCHS**

3. ¿Te gusta leer? Si
4. ¿Qué libros has leído últimamente? Rebelión en la granja
- 3- ¿Consideras que entiendes lo que lees? Si
- 4- ¿Cuál es la materia del bachillerato que más te ha gustado? Ingles
- 5- ¿Qué licenciatura piensas cursar? Cinematografía
- 6- ¿Tienes algún familiar que haya estudiado ciencias o ingeniería? si
- 7- ¿Consideras que estudiar Física te puede servir para algo en la vida? Si
- 8- ¿Qué temas de Física te gustaría que se vieran en clase? Principios de la luz
- 9- ¿Te interesas por los nuevos descubrimientos científicos? Si
- 10- ¿Te gusta estudiar solo(a) o en equipo, y por qué? En equipo, por que nos podemos preguntar entre si
- 11- Si en este preciso momento estuvieras en el espacio, sin traje espacial ni nave, ¿Qué piensas que le sucedería a tu cuerpo y por qué? Me congelaría por las bajas temperatura del espacio
- 12- ¿Recuerdas que unidades tiene la Energía en el sistema internacional?, ¿Crees que se podría expresar en esas unidades el aporte energético de los alimentos que consumes? Si
- 13- ¿Alguna vez has soltado un objeto y éste se ha quedado suspendido en el aire durante una fracción de segundo antes de caer?, en caso de que te haya sucedido, ¿A qué crees que se debe? No
- 14- ¿Conoces lo que es un agujero negro?, proporciona una breve explicación
Un agujero que absorbe todo lo que esta a su alrededor
- 15- ¿Qué opinión tienes del video que se te pidió que observaras? ¿Consideras que los agujeros negros son un tema actual? Pienso que si son un tema actual ya que todavía no sabemos mucho de estos, por lo que se siguen investigando
- 16- Factoriza la siguiente ecuación:
$$6x^2 + 7x = -2$$
$$(3x+2)(2x+1)$$
- 17- Encuentra la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$x - 2y = -4$$

$$3x + y - 9 = 0$$

$$X = 2$$

$$Y = 3$$

$$(2) - 2(3) = -4$$

$$-4 = -4$$

$$3(2) + (3) = 9$$

$$9 = 9$$

Preguntas de la evaluación formativa

Preguntas 1, 3 y 4

Natalia D. O. ENP 8

Cuestionario de las lecturas.

Ondas gravitacionales:

- 1- ¿Qué son las ondas gravitacionales?

Son ondas en el tejido del espacio-tiempo producidas por los fenómenos violentos del cosmos, tales como la explosión de estrellas, las colisiones entre estrellas de neutrones increíblemente densas o la fusión de agujeros negros.

- 2- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?

En la tierra, nosotros podemos percibir las gracias a dos grandes estaciones ubicadas en Estados Unidos, que trabajan con láseres y espejos que permiten percibir el cambio de la distancia entre dos objetos ocasionado por el paso de las ondas electromagnéticas.

- 3- ¿Cómo es que escuchamos las ondas gravitacionales?

Porque las convirtieron en ondas de sonido.

Imagen de un agujero negro:

- 1- Si el color de un agujero negro es negro, ¿cómo es que se obtuvo una fotografía?

Se estudia el efecto que el agujero negro causa en las estrellas y diverso material espacial que se encuentra en su entorno. En el caso del M87, que fue el agujero negro que se fotografió, lo que lo hacía visible en realidad era una nube de gas caliente que lo rodeaba.

- 2- ¿Qué es un radiotelescopio y como se llama el que se encuentra en la cima del volcán Sierra negra en Puebla?

Un radiotelescopio es un instrumento de astronomía, consiste de una antena y un radio receptor que se usan para detectar las radio frecuencias provenientes de diversas fuentes extraterrestres. El que se encuentra en Puebla es el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano.

- 3- En tus propias palabras, ¿qué es el color?

Es la longitud de onda de la luz que alcanzan a ver nuestros ojos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Plantel N.4

“Vidal Castañeda y Nájera”

**Actividades de la Sesión 3:
Cuestionarios de las lecturas**

Integrantes:

Valentina A. L.

Joselin B. S.

Cuestionarios de las lecturas

Ondas gravitacionales:

1- ¿Qué son las ondas gravitacionales?

Las ondas gravitacionales, que son invisibles, son a la teoría de la gravedad lo que la luz y las ondas de radio son a la teoría electromagnética. Consisten en pequeñas variaciones del campo gravitacional que se propagan a la velocidad de la luz. Estas ondas contraen y estiran cualquier cosa que encuentran en su camino.

2- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?

En 2015, los científicos detectaron ondas gravitatorias por primera vez. Utilizaron un instrumento muy sensible llamado LIGO por sus siglas en inglés (Observatorio de ondas gravitatorias por interferometría láser). Estas primeras ondas gravitatorias se produjeron cuando dos agujeros negros chocaron entre sí.

Cuando una onda gravitatoria pasa por la Tierra, comprime y estira el espacio. LIGO puede detectar este estiramiento y compresión. Cada observatorio LIGO tiene dos “brazos”, cada uno de ellos de más de 2 millas de largo. Una onda gravitatoria que pasa hace que la longitud de los brazos cambie ligeramente. El observatorio utiliza láseres, espejos e instrumentos extremadamente sensibles para detectar estos pequeños cambios.

3- ¿Cómo es que escuchamos las ondas gravitacionales?

Tomando en cuenta las ondas gravitacionales que LIGO detectó, en las primeras dos series, las frecuencias de las ondas de sonido se corresponden exactamente con las frecuencias de las ondas gravitacionales. Las siguientes dos series son lo mismo, pero en una frecuencia más alta que se ajusta mejor al rango de audición humana.

Las ondas gravitacionales tienen, como la luz, una amplitud y una frecuencia variable. Las que detectó LIGO, generaron desplazamientos relativos de una parte en 10²¹ a frecuencias de entre 35 y 150 pulsaciones por segundo (Hz). Estas frecuencias son próximas a las de la voz humana (un poco más graves) y es por eso que los investigadores usan la analogía sonora para representarlas de una manera que podamos "sentirlas" con nuestros sentidos.

Imagen de un agujero negro:

1- Si el color de un agujero negro es negro, ¿cómo es que se obtuvo una fotografía?

Debido a la emisión de gas caliente que gira alrededor de él, y bajo la influencia de una fuerte gravedad cerca de él.

2- ¿Qué es un radiotelescopio y como se llama el que se encuentra en la cima del volcán Sierra Negra en Puebla?

Principalmente el radiotelescopio es un instrumento astronómico que consta de un receptor de radio y un sistema de antena que se utiliza para detectar la radiación de radiofrecuencia emitida por fuentes extraterrestres. Debido a que las longitudes de onda de radio son mucho más largas que las de la luz visible, los radiotelescopios deben ser muy grandes para alcanzar la resolución de los telescopios ópticos.

El radiotelescopio que está en la cima del volcán Sierra Negra en Puebla se llama el

Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano.

3- En tus propias palabras, ¿qué es el color?

Podría decir que el color es el aspecto que tienen las cosas, causado por las diferentes cualidades de la luz que reflejan o emiten en ellas o sobre ellas.

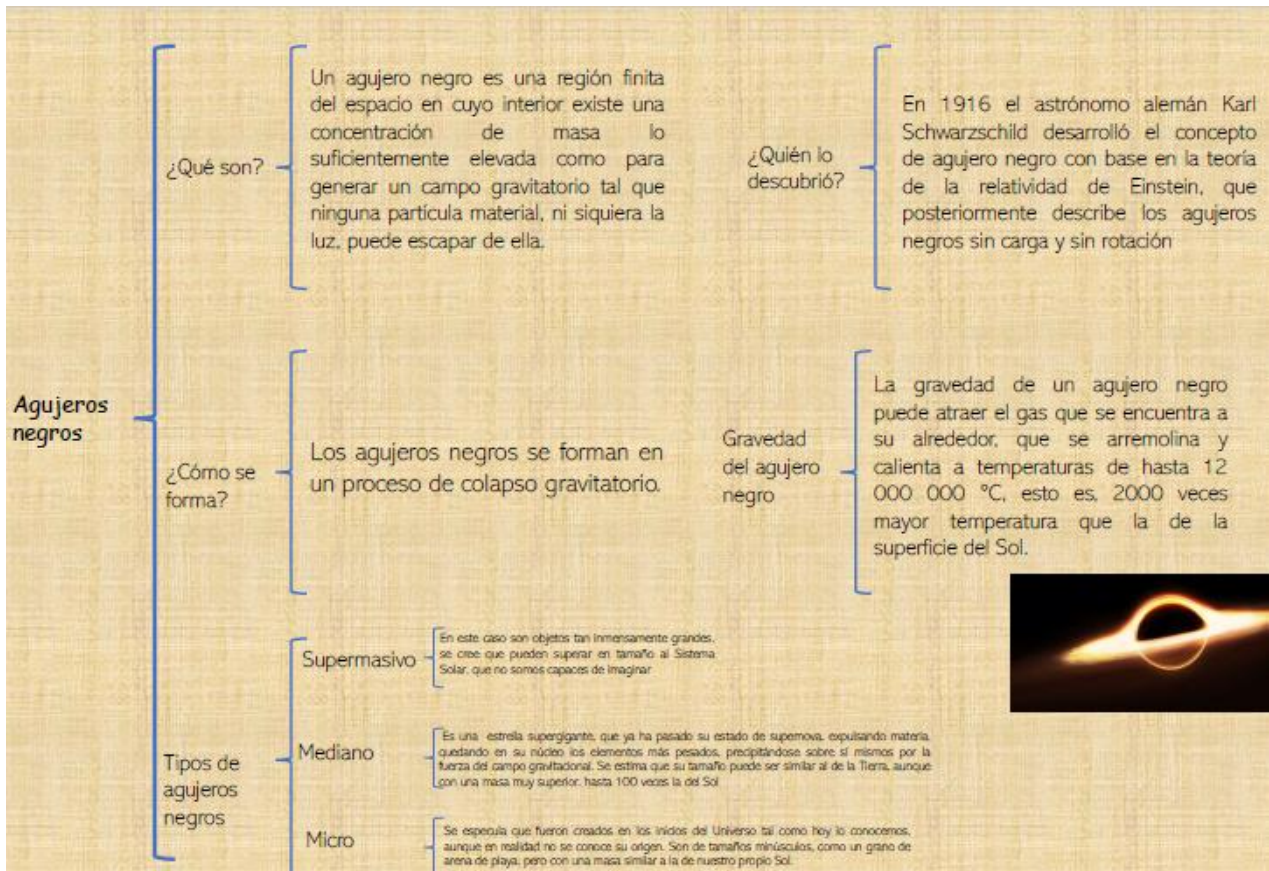
Reflexión

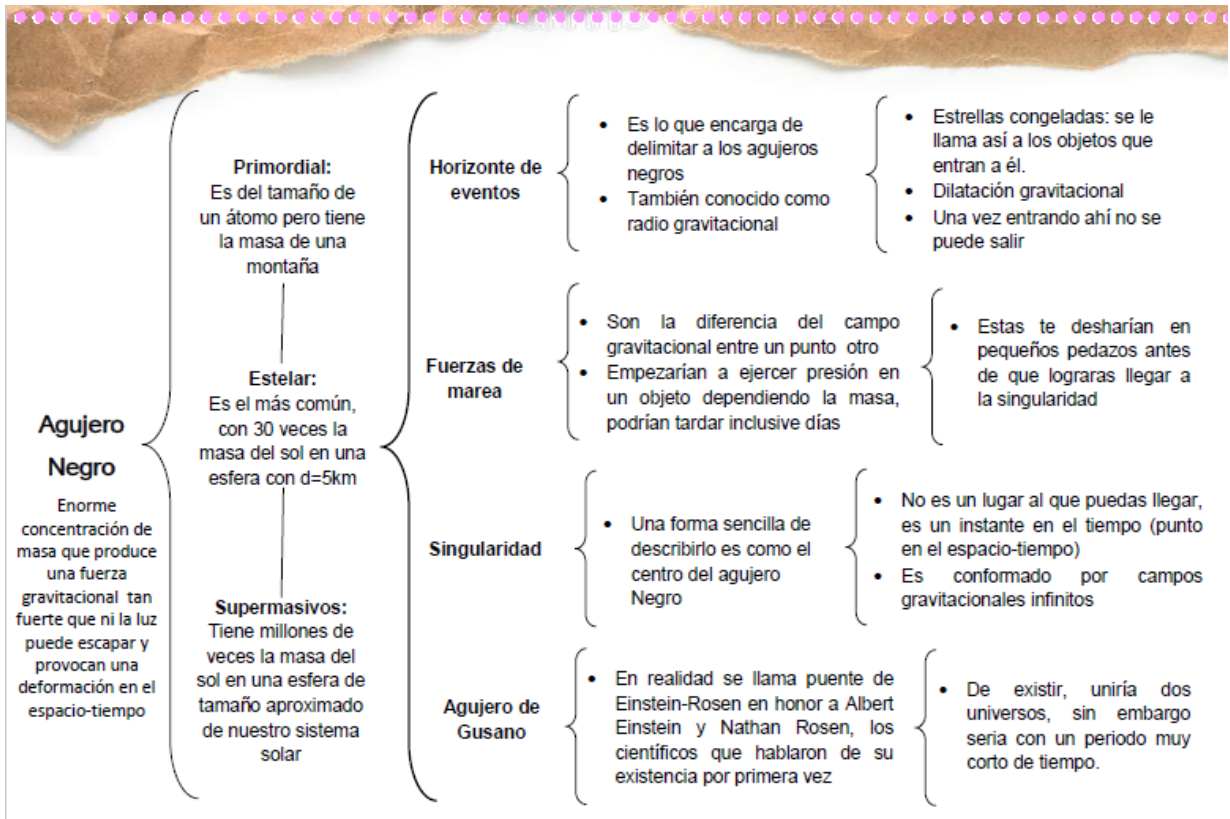
Ahora bien dentro del plan de estudios de la enp, los temas que se podrían relacionar con las ondas gravitacionales y la imagen de una onda son los siguientes:

- ★ **Características del medio de propagación y efectos de sitio: estados de la materia.(Bloque 1)**

Pregunta 2

Sergio G. H. y Tamara S. Z. – CCH Sur





Pregunta 5

Michelle G. G. ENP 8

Ejercicio 2: ¿Qué diámetro debería tener la Tierra para que se convirtiera en un agujero negro?

Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera de 300 000 m/s, es decir, que nada, ni siquiera la luz pudiera escapar al efecto de su gravedad.

Datos	Fórmula	Despeje
$M = 5.9736 \times 10^{24} \text{ Kg}$ $V = 300\,000 \text{ m/s}$	$V = \sqrt{\frac{2G \cdot M}{r}}$	$r = \frac{2G \cdot M}{V^2}$

Desarrollo

$$r = \frac{2(6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2) \cdot 5.9736 \times 10^{24} \text{ Kg}}{(300\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} =$$
$$\frac{1.334 \times 10^{-10} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \cdot 5.9736 \times 10^{24} \text{ Kg}}{90000000000 \text{ m}^2/\text{s}^2} =$$
$$\frac{7.9687824 \times 10^{14} \frac{(\text{kg} \cdot \text{m})}{\text{s}^2} \text{ m}^2/\text{kg}^2 \cdot \text{kg}}{90000000000 \text{ m}^2/\text{s}^2} = \boxed{8854.202667 \text{ m}} /$$

8.4542 Km

"Ejercicio agujeros negros"

Si sabemos que la velocidad de la luz es constante y no se puede superar, calcula el diámetro que debería tener la masa de la Tierra para que la velocidad de escape fuera de 300 000 (km/s). Nota: Investigar la información que se necesite.

Datos:

Radio de la Tierra: $6.38 \times 10^6 \text{m}$

Masa de la tierra: $5.97 \times 10^{24} \text{kg}$

Formula:

$$v = \sqrt{2GM / R}$$

Desarrollo:

$$v = \sqrt{2(6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2})(5.97 \times 10^{24} \text{kg}) / 6.38 \times 10^6 \text{m}}$$

Resultado:

$$v = 11,172.612 \text{ m/s}$$

Pregunta 6

Diego A. H. ENP 8

Diferencias y similitudes entre las ondas electromagnéticas y las mecánicas	
Diferencias	Similitudes
La percepción que tenemos sobre las ondas mecánicas es por la presión y/o movimiento. Las electromagnéticas es por la luz y el calor.	Ambas son una vibración que transporta energía.
Las ondas mecánicas viajan a diferentes velocidades, dependiendo del medio. Las electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz.	Tienen una longitud, amplitud y frecuencia.
Las ondas mecánicas necesitan un medio para transportarse. Las electromagnéticas no necesitan un medio (pueden viajar en el vacío).	Se propagan describiendo una función senoidal.
Las ondas mecánicas son perturbaciones sobre un objeto en equilibrio, que se pueden propagar en una, dos o tres dimensiones.	
Las ondas electromagnéticas son resultado de la interacción de campos eléctricos y magnéticos.	

Propiedades Físicas	
Electromagnética	Mecánica
Reflexión	Refracción
Refracción	Difracción
Polarización	Interferencia
Difracción	Resonancia
Superposición e interferencia	Constructiva
Dispersión	Destructiva
Absorción	

Fórmulas aplicables		
Rapidez de una onda. $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$	Longitud de onda. $\lambda = \frac{v}{f}$	Velocidad de una onda. $v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$
Número de ondas. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$	Frecuencia de ondas. $f = \frac{1}{T}$	Pulsación o frecuencia angular de la onda. $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Cuadro comparativo de las similitudes y diferencias entre las ondas mecánicas y electromagnéticas.

	Ondas mecánicas	Ondas electromagnéticas
Similitudes	<ul style="list-style-type: none"> ● Se propaga describiendo una función senoidal. ● Se representa por la ecuación: $y(x,t) = f(x-vt)$ ● Tiene longitud y amplitud de onda. ● Tiene frecuencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se propaga describiendo una función senoidal. ● Se representa por la ecuación: $y(x,t) = f(x-vt)$ ● Tiene longitud y amplitud de onda. ● Tiene frecuencia.
Diferencias	<ul style="list-style-type: none"> ● Viajan por algún material llamado "medio". ● La percepción física que tenemos de las ondas mecánicas es por toda clase de presión y movimiento. ● Su velocidad de propagación depende del medio. ● La onda mecánica es la alteración de un medio material. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se propagan por un espacio vacío, sin necesidad de un "medio". ● La percepción física que tenemos de las ondas electromagnéticas es solo por luz y calor. ● Su velocidad de propagación siempre es la misma: la de la luz. ● La onda electromagnética es radiación en el espacio.

Pregunta 7

Oswaldo B. P. y Emilio A. M. ENP 4

Ejercicio: Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de un cuanto de radiación electromagnética (Nota: Usar sistema Internacional) y utilizando la expresión de Wien (abajo a la derecha) para el efecto de cuerpo negro, estime la temperatura en grados centígrados del fragmento de magma que tiene solo un par de segundos de haber sido expulsado de un volcán.

$$E = f * h \quad c = \lambda * f$$

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s} \quad c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \lambda = 700 \text{ nm} = 7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = c/\lambda = \quad E = h * c/\lambda$$

$$E = (6.62607015 \times 10^{-34})(3.0 \times 10^8) / 7 \times 10^{-7}$$

$$E = 2.83 \times 10^{-36} \text{ J}$$

$$T = 4140 \text{ K}$$

Diego A. H. ENP 8

Ejercicio 3

Suponiendo que el magma de la imagen es un cuerpo negro (absorbe el 100% de la luz, además de encontrarse en equilibrio termodinámico), calcula la energía de la radiación electromagnética. Nota: Usar sistema Internacional

Utilizando la expresión de Wien para el efecto de cuerpo negro, estime la temperatura en grados centígrados del fragmento de magma que tiene solo un par de segundos de haber sido expulsado del volcán.



En mi opinión creo que nos faltan información para realizar este ejercicio.

Pregunta 8

Dulce G. L. ENP 4



La sismología es una ciencia joven que ha contribuido de manera notable al conocimiento de la estructura de nuestro planeta. Un sismo es un movimiento repentino y turbulento que surge en el interior de la tierra, que llega a la superficie en forma de energía debido a la actividad volcánica o al movimiento de placas tectónicas, se puede también considerar como una ruptura en el interior de la tierra.

Esta ruptura generará ondas que se propagarán tridimensionalmente alejándose del punto donde se ha generado la ruptura. Estas rupturas se generan puesto que el núcleo de nuestro planeta está compuesto de una masa líquida, que arde a 6200°C la energía que ese calor produce, busca una salida, salida que encuentra en las placas tectónicas, en la corteza terrestre; las placas tectónicas son plataformas de roca sólida fragmentada como un rompecabezas que está en constante movimiento gracias a esa energía liberada, que al chocar, se fracturan, la energía que libera se desplaza desde el hipocentro (lugar donde se origina el movimiento) hasta el epicentro (primer lugar de la superficie donde se siente la sacudida).

La magnitud de los sismos es una medida de la energía liberada por el mismo, se puede medir en cualquier punto o distancia desde el lugar donde se originó. Por el momento, los sismos no son predictibles, pero los avances en la ciencia han logrado que sea posible saber en el momento exacto que se ha originado uno.

Los dos tipos de ondas sísmicas son: la onda compresional que consiste en la transmisión de compresiones y tensiones, estas presentan compresiones y tensiones a lo largo de la trayectoria de la onda; el segundo tipo de onda, es la onda de cizallamiento o transversales, llamadas así porque las partículas del medio se mueven de manera perpendicular a la trayectoria.

Las ondas compresionales viajan más rápido que las transversales, de tal forma que a cualquier sitio llegaran en ese orden, por tal motivo, se les denomina ondas P y ondas S,

esta diferencia de tiempos solo se hará notar mientras más lejos se encuentre de la fuente del sismo.

Una erupción volcánica es una emisión violenta en la superficie por un volcán que puede expulsar lava y/o tefras, estas son expulsadas en compañía de gases volcánicos, de esta categoría pueden excluirse los geiseres y los volcanes de lodo.

En mi punto de vista, el magma si emite radiación electromagnética pues esta irradia luz visible, seguramente también se puede considerar el hecho que el magma irradie más tipos de ondas aparte de las que se encuentran en el espectro de ondas visibles al ojo humano, como pueden ser las de microondas, ondas infrarrojas, etc.

Cuestionario

- 5- ¿Cuál es el efecto de las ondas gravitacionales que podemos percibir en la Tierra?
El sonido y la distorsión.
- 6- ¿Cómo es que se pueden llegar a escuchar las ondas gravitacionales?
Porque fueron detectadas a través de instrumentos específicos en LIGO, el proyecto encargado de desarrollarlas.
- 7- En tus propias palabras, ¿qué es el color?
Luz que se refleja y no es absorbida
- 8- Justifica si el magma emite o no radiación electromagnética
El magma sí emite radiación electromagnética porque libera energía(calor) en el plano material.

Pregunta 9

Ximena A. L. y Denisse H. J. CCHS

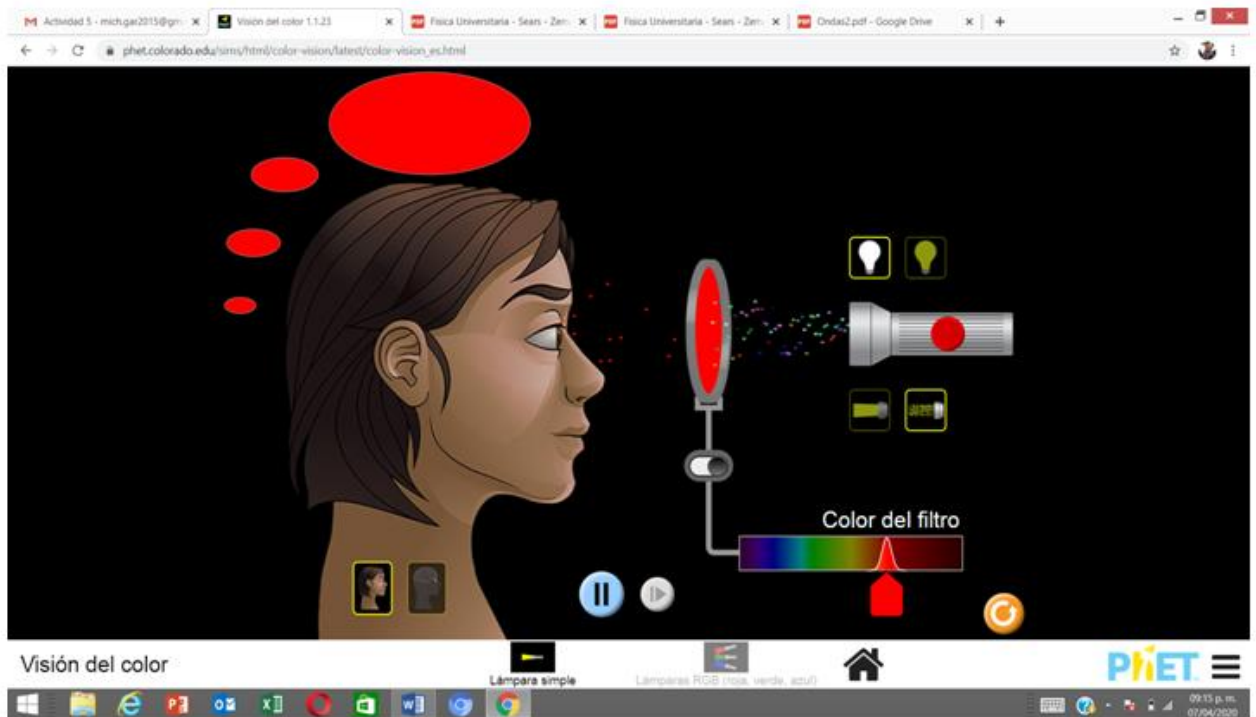
Ejecuta la simulación "color visión", toma una captura de pantalla y explica por qué si se proyecta luz blanca sobre el filtro rojo la persona percibe la luz de color rojo.



Porque las tonalidades de la luz blanca se combinan con las del filtro rojo y estas son las que el cerebro percibe y hace que veamos ese tono.

Por lo tanto, nosotros percibimos la luz de color rojo, ya que el espectro de la luz blanca que la compone absorbe a la superficie (filtro de color rojo) y el resto que no es absorbido lo refleja, en este caso lo refleja de color rojo.

Ejercicio 4: Simulación Phet.



La persona ve de color rojo la luz blanca, porque el filtro rojo selecciona ese intervalo de longitud de onda, dejando pasar únicamente este espectro (el color rojo).