



# El abordaje de las ondas gravitacionales en el bachillerato

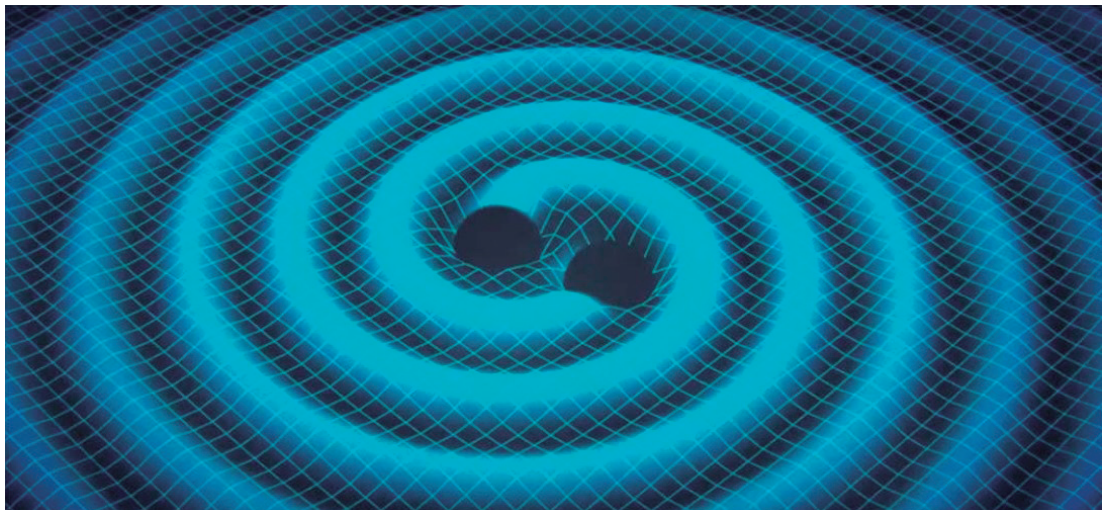
**Irene Arriassecq, Esther E. Cayul**

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina

Se presenta una secuencia para el abordaje del concepto «ondas gravitacionales» en el bachillerato. La secuencia didáctica se enfoca en su detección, la relevancia de ese hecho para la ciencia, la obtención del Premio Nobel de Física por ese logro y el rol destacado de una mujer en el proyecto. La secuencia está contextualizada en los marcos teóricos Física Primero (FP), Naturaleza de la Ciencia (NdC) y Enseñanza para la Comprensión (EpC).

#### PALABRAS CLAVE

- ONDAS GRAVITACIONALES
- TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD
- ENSEÑANZA PARA LA COMPRESIÓN



Los resultados que se vienen obteniendo desde hace varios años en astrofísica y cosmología, y que se divulgan permanentemente en los medios de comunicación masiva, motivan al alumnado de carreras científicas a aprender acerca de la teoría general de la relatividad (TGR). Christensen y Moore (2012) sostienen que, actualmente, una serie de libros de texto innovadores posibilitan satisfacer esa demanda a nivel educativo superior. La TGR tiene, además, relevancia científica dentro y fuera del campo de la física. Se relaciona con numerosas aplicaciones en la vida diaria, como el GPS o las pantallas LCD y es necesaria para explicar modelos cosmológicos aceptados hoy en día. Parece entonces relevante introducir esta teoría en los últimos años de la escuela secundaria o bachillerato.

Nuestra experiencia docente y los resultados de encuestas realizadas a estudiantado de los últimos dos años del nivel secundario –16-17 años– (Arriasecq y Greca, 2007) nos indican que los alumnos y alumnas de ese nivel educativo también están interesados por los mismos fenómenos, pero, lamentablemente, no existen libros de texto didácticos que contemplen los hallazgos más recientes, interesantes y divulgados fuera del ámbito escolar. Los textos que los contemplan lo hacen desde el punto de vista de la divulgación, sin profundizar demasiado en aspectos conceptuales. La investigación en educación en física también es escasa. Se han desarrollado algunas propuestas prometedoras haciendo hincapié en los aspectos conceptuales y reduciendo la carga matemática, o basándose en la historia y la filosofía de la ciencia. Otros enfoques están relacionados con el creciente desarrollo de herramientas basadas en las TIC (simulaciones, juegos y películas de realidad virtual) para ayudar

al estudiantado a pensar en las consecuencias observacionales de la TGR.

El caso de las ondas gravitacionales es un claro ejemplo, entre otros en el siglo XXI, en que la física se ha visto revolucionada por la validación de teorías que ya tienen más de un siglo. Este aspecto es interesante para abordar aspectos de NdC con los alumnos y alumnas. Los medios de comunicación se ocupan de difundir estos avances. El alumnado a menudo se muestra entusiasmado con estos temas, que suelen ser abordados en películas o novelas de ciencia ficción. Aunque a veces este material tiene respaldo científico, en otras ocasiones se hace más hincapié en la ficción que en la ciencia, ya que se trata de productos culturales destinados al entretenimiento más que a la educación. Para aquellos que estén interesados, no hay límites a las posibilidades de acceder a esta información. Los formatos son muy variados: entrevistas a especialistas, vídeos informativos breves, documentales más largos con tecnicismos que requieren conocimientos científicos previos, así como de divulgación. A pesar de este material disponible y del gran interés del estudiantado, en las clases de física de bachillerato se abordan, en el mejor de los casos, algunos temas de principios del siglo XX.

Por otra parte, en la formación de grado los docentes de física no suelen cursar materias que contemplen temáticas de física contemporánea en profundidad y contextualizadas desde una perspectiva de NdC (Arriasecq y Greca, 2007). Para comprender conocimientos científicos referidos a la cosmología y la astrofísica que se han desarrollado durante la última década, por ejemplo agujeros negros o la expansión del universo, es necesario comprender conceptos de la TGR como el de gravitación y el de ondas gravitacionales (OG) entre otros.

## Para comprender la cosmología y la astrofísica es necesario comprender conceptos como la gravitación y las ondas gravitacionales



En este artículo presentamos una secuencia didáctica para abordar las OG en el bachillerato y los materiales que hemos elaborado a partir de un marco teórico que considera relevante tratar los aspectos conceptuales del contenido junto con los aspectos epistemológicos, psicológicos y didácticos. Los recursos que compartimos son insumos fundamentales tanto para los docentes como para el estudiantado. Dicho material<sup>1</sup> con-

tiene: videos, notas de periódicos nacionales e internacionales, charlas TED y TEDx, entrevistas a científicos, guía de actividades, materiales complementarios (descripciones del experimento que se llevó a cabo para detectar las OG, modelizaciones y simulaciones de conceptos vinculados al de OG espacio-tiempo, gravitación). El enfoque a partir del cual se elaboró el material, permite analizar tanto aspectos conceptuales como aquellos vinculados con la producción del conocimiento científico, entre los cuales se incluyen las cuestiones de género. El diseño de la propuesta didáctica se fundamenta desde una perspectiva que integra los marcos teóricos de NdC, la EpC (Wiske, 1999) y el enfoque FP. Esta secuencia didáctica ha sido implementada dos veces en un taller de bachillerato de escuela pública<sup>2</sup> y una vez con docentes en REF XXI.<sup>3</sup> Los resultados

Metas de comprensión	Desempeños de comprensión
1. Interpretar el concepto de ondas gravitacionales.	1. Diferenciar el concepto de ondas gravitatorias de los otros tipos de ondas abordados en el taller.
2. Analizar el valor de la mediación de ondas gravitacionales como una contrastación de la TGR.	2. Identificar los experimentos que permitieron contrastar la TGR.
3. Interpretar información periodística vinculada con las ondas gravitacionales.	3. Resolver las consignas propuestas en la secuencia didáctica.
4. Debatir sobre el proceso de detección de las ondas gravitacionales.	4. Formular preguntas específicas para entrevistar a científicos especialistas en la detección de ondas gravitacionales.
5. Investigar sobre el rol de las mujeres científicas en el proceso de medición de ondas gravitacionales.	5. Entrevistar a mujeres de ciencia argentinas (preferentemente vinculadas al tema ondas gravitacionales) e identificar las principales dificultades de su trabajo, o de sus colegas, por su condición de mujer.
6. Analizar las razones por las cuales tres científicos del proyecto LIGO fueron galardonados con el Premio Nobel por la detección de ondas gravitacionales en 2017.	

**Cuadro 1.** Cinco actividades que se corresponden con metas y desempeños de comprensión

de la primera implementación en bachillerato se encuentran en Cayul y otros (2019).

## ACTIVIDADES DE LA SECUENCIA PARA UN PRIMER ACERCAMIENTO A LAS ONDAS GRAVITACIONALES

Esta secuencia está formada por cinco actividades que se corresponden con metas y desempeños de comprensión propuestos para la misma. Se muestran en el cuadro 1.

En las diferentes actividades se introduce la reflexión sobre aspectos de NdC, tanto históricos como epistemológicos. Se analiza el rol de la tecnología en este acontecimiento científico, aspectos vinculados con la sociología de la ciencia y cuestiones de género. Las actividades 1 y 2 tienen como objetivo indagar sobre los conocimientos previos del estudiantado. En la primera actividad se abordan las metas de comprensión 1 y 2 y los desempeños de comprensión 1 y 3.

### Actividad 1

Te solicitamos que registres por escrito, y con el mayor detalle posible, las respuestas a las siguientes preguntas: Alguna vez has escuchado, visto o leído acerca de las ondas gravitacionales?

Si tu pregunta a la respuesta anterior ha sido afirmativa:

- 1 Recordás a través de qué medio (televisión, Internet, películas, libros, en la escuela, en tu casa) te enteraste de este fenómeno.
- 2 ¿Te resultó interesante el tema?
- 3 Explica con tus palabras qué entendés por ondas gravitacionales.
- 4 ¿Quién fue el científico que planteó por primera vez la existencia de ondas gravitacionales y dentro de qué marco teórico tiene sentido hablar de ellas? ¿Son estudiadas en forma teórica o experimental?
- 5 ¿Con qué otros conceptos científicos se relacionan las ondas gravitacionales?
- 6 ¿Cómo se generan?
- 7 ¿Son estudiadas en forma teórica o experimental?
- 8 ¿Es importante para la ciencia detectarlas? ¿Por qué?
- 9 ¿Qué hechos podrían ser indicadores de que para la ciencia es importante estudiar las ondas gravitatorias?
- 10 ¿Es importante para la sociedad el estudio de las ondas gravitacionales? ¿Por qué?
- 11 ¿Cuánto tiempo transcurrió desde que se predijo su existencia hasta que se lograron detectarlas?
- 12 ¿Cuál es el rol de la tecnología en la detección de este tipo de ondas?
- 13 ¿Quiénes y dónde las estudian?
- 14 ¿Cuál es el rol de las mujeres en el estudio de este fenómeno?
- 15 ¿Por qué consideras que se le ha dado tanta importancia al tema en los medios de comunicación?
- 16 ¿Te parece importante analizar este tema en la escuela?

La mayoría de los alumnos y alumnas responden que no han escuchado mencionar las OG, otros comentan haber visto vídeos en YouTube, pero es muy poco lo que saben de este tema.

No responden en esta primera clase la mayoría de las consignas. La segunda actividad se relaciona con la meta 1 y los desempeños de comprensión 1 y 3.



## Actividad 2

- a) ¿Deberían tener un medio en el cual desplazarse?
- b) Si se desplazan en un medio, ¿cuál podría ser?
- c) Desde tu punto de vista, ¿cuál podría ser su velocidad de propagación?
- d) La velocidad de propagación sería comparable con la de qué otro fenómeno ondulatorio? ¿Cuál podría ser ese otro fenómeno?
- e) ¿Nosotras podríamos percibirlos como hacemos con las ondas sonoras o las electromagnéticas o considerarías que se requiere un detector especial que solo tienen los científicos?
- f) ¿Qué otras características, propias de los fenómenos ondulatorios, deberían tener las ondas gravitacionales?

Luego de responder las consignas de estas actividades, el docente presenta al alumnado la actividad 3, donde se integran las actividades 1

y 2 y otras cuestiones que se relacionan con las metas de comprensión 1, 2, 3 y 4 y los desempeños 1, 2 y 3.

## Actividad 3

Luego de mirar los vídeos que se indican en el Anexo 1 de este documento (los vídeos se encuentran disponibles en el Drive), de leer: Texto 1, Texto 2, Texto 3, Texto 4, Texto 8, Texto 9 y Texto 10 (disponibles en el Anexo 2 de este documento y también en el Drive) y analizar críticamente todo el material:

- a) Anotá los textos que consideres más relevantes, justificá por qué crees que son importantes y también identificá aquellos conceptos que no conozcas.
- b) Volvé a leer las preguntas formuladas en la Actividad 2, desde inciso 2 en adelante de la parte b, y respóndelas por escrito en un archivo Word de la forma más detallada posible.
- c) Volvé a leer las preguntas formuladas en la Actividad 2 y respóndelas por escrito en un archivo Word de la forma más detallada posible.
- d) ¿Cómo se propagan las ondas gravitacionales y a qué velocidad lo hacen?
- e) ¿Cuáles son las condiciones para que estas ondas se produzcan?
- f) ¿De qué órdenes de magnitud deben ser las energías involucradas en los fenómenos que generan estas ondas?
- g) ¿Qué significa la frase varias veces mencionada en los medios de comunicación: «Einstein tenía razón»?
- h) ¿Qué significa que las ondas gravitacionales son una «predicción» de la teoría de la relatividad general?
- i) ¿Por qué supones que luego de la primera medición de ondas gravitacionales los científicos continuaron, y continúan, registrando ese tipo de fenómeno?
- j) ¿Qué preguntas les realizarías a algún integrante del proyecto LIGO, o especialista en ondas gravitacionales, si tuvieras la oportunidad de hacerlo?
- k) ¿Qué otras dudas o intereses te han surgido a partir de los materiales con los que has trabajado?
- l) ¿Estudiarías una carrera vinculada con estos temas? Si tu respuesta es afirmativa, ¿por qué lo harías y cuándo empezaste a pensar en esa posibilidad?

m) ¿Cuáles han sido los vídeos o materiales escritos que te han resultado más interesantes para comprender el concepto de onda gravitacional? Puntúa cada uno de ellos con una escala de 1 a 10, donde 1 corresponde a «no es interesante» y 10 es «muy interesante».

n) En general, ¿te han resultado más interesantes y/o útiles los vídeos, los artículos o la combinación de ambos?

Luego de leer los textos, observar los vídeos y debatir en clase, guiados por el docente, responden nuevamente las tres actividades. En sus respuestas se observa que comprenden que las OG son perturbaciones del espacio-tiempo originadas por el movimiento de cuerpos acelerados, como la fusión de agujeros negros, que se desplazan a la velocidad de la luz. Que tienen las mismas propiedades que las ondas mecánicas y electromagnéticas y algunas características diferentes como el medio donde se propagan. Identifican que son una predicción de la TGR porque esta teoría supone la existencia de estas ondas. Respecto a la frase «Einstein tenía razón» explican que, al haberlo predicho hace muchos años, se pudo haber pensado que no eran reales, pero que, sin embargo, se demostró que existen y que, en la actualidad, con sistemas de detección muy sofisticados se logró una contrastación empírica, necesaria para toda teoría científica (imagen 1).

A algunos alumnos y alumnas, al abordar estos temas, se les despierta el interés por continuar alguna carrera científica afín a estas cuestiones, como por ejemplo física, astronomía o astrofísica.



**Imagen 1.** Los medios de comunicación recogen la afirmación: «¡Einstein tenía razón!»

ca. En la primera implementación de la propuesta didáctica el alumnado tuvo la oportunidad de que la entonces portavoz del proyecto LIGO, la doctora Gabriela González, les respondiera a través de una videoconferencia todas las preguntas que habían elaborado. Fue una experiencia enriquecedora para ellos y ellas y para los docentes involucrados en esta implementación.

La siguiente actividad se relaciona con las metas de comprensión 5 y 6 y con los desempeños de comprensión 4 y 5.

#### Actividad 4

Luego de la lectura de: Texto 5, Texto 6 y Texto 7 (en Anexo 3), y de consultar otras fuentes que consideres necesarias, responde las siguientes preguntas:

- ¿Qué es el Premio Nobel? ¿Con qué otro premio, fuera del ámbito científico, lo podrías comparar?
- ¿Cuál es tu opinión respecto del escaso número de mujeres que han ganado este premio desde que se comenzó a otorgar?



- c) ¿Cuál es la opinión de la doctora Gabriela González respecto a las mujeres en la actividad científica? ¿Cuál es tu opinión al respecto?
- d) Consideras que es más complejo para las mujeres dedicarse a la actividad científica? ¿Por qué?
- e) ¿Por qué razón el Premio Nobel de Física de 2017 fue compartido por tres físicos y no lo recibió una sola persona?
- f) ¿Quiénes han sido los argentinos que han obtenido este premio?
- g) ¿Qué país tiene más cantidad de Premios Nobel? ¿Cuáles podrían ser las razones?

El estudiantado responde que el Premio Nobel se puede comparar con los Óscar, los Grammy y el Pulitzer. Respecto al escaso número de mujeres que han ganado este premio la mayoría opina que no se les da el reconocimiento suficiente a todas las mujeres que participan de proyectos de investigación y que la historia siempre mostró solo los logros de los hombres. En cuanto a la opinión de la doctora Gabriela González sobre este tema, inferen de sus respuestas que no se incentiva a las niñas pequeñas a estudiar carreras científicas, por lo cual su intervención en el ámbito científico es acotada, y que, generalmente, se da por sentado que la figura del científico es masculina, siendo algo que no se suele cuestionar. Reconocen que el Premio Nobel de Física de 2017 fue otorgado a tres científicos porque tuvieron una participación similar en el proyecto LIGO para la detección de ondas gravitacionales. Indagan que en Argentina hay cinco personas que han obtenido el Nobel y que

el país que tiene más cantidad de galardonados con este premio es Estados Unidos, opinando que la razón de la obtención de esta gran cantidad de premios quizá se deba a la gran inversión en ciencia que realizan y a los avances tecnológicos que poseen.

Optamos por recurrir a esta potente herramienta metacognitiva porque ha demostrado, durante décadas, ser un instrumento más que adecuado para compartir e intercambiar significados. Por otra parte, el intercambio de significados emergente en las exposiciones de los mapas conceptuales es una instancia más de aprendizaje y de evaluación sobre qué han comprendido y que es lo que falta profundizar. Y, fundamentalmente, es un espacio para evaluar aquellos aspectos no conceptuales que también son objetivos de nuestra propuesta (como los aspectos epistemológicos, sociológicos y de género).

## Actividad 5

Esta actividad tiene como objetivo evaluar la comprensión conceptual del alumnado sobre los temas desarrollados en esta secuencia didáctica. Para ello, se les solicita que realicen un mapa conceptual que dé respuesta a la pregunta de enfoque:

*¿Por qué la detección de ondas gravitacionales es importante para la ciencia y la sociedad?*

## COMENTARIOS FINALES

La secuencia didáctica que hemos presentado permite introducir elementos de TGR en el bachillerato utilizando los materiales que desarrollamos y los recursos escogidos, a pesar de la falta de formación docente y el escaso tiempo disponible. Este enfoque parece no solo beneficiar al estudiantado en el sentido de acercarlos a la física más «actual», sino que también les posibilita revisar y comprender mejor los conceptos de la física clásica que pasan desapercibidos en la enseñanza tradicional, como por ejemplo los conceptos de tiempo, espacio vs. espacio-tiempo o la gravitación desde la perspectiva clásica vs. la relativista. Al mismo tiempo, permite abordar otros aspectos que van más allá de los estrictamente conceptuales y posibilita analizar cuestiones epistemológicas relevantes como la necesidad de contrastación empírica de las teorías físicas, las nuevas posibilidades de investigación astronómicas que comienzan a partir de la detección de las OG, el rol de las mujeres en la actividad científica y el trabajo colaborativo en grandes consorcios internacionales como rasgos característicos de la ciencia actual. ◀

## Notas

1. En el siguiente enlace se puede acceder a la secuencia didáctica completa, así como a los materiales (videos, libros, artículos periodísticos, etc.), tanto para docentes como para el estudiantado: <https://bit.ly/3usKzp9>
2. Taller de Ondas para 5.º año de escuela secundaria con orientación en ciencias naturales en la Escuela Nacional Ernesto Sábato, dependiente de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina).
3. Reunión de Educadores en Enseñanza de la Física realizada en Rosario (Santa Fe, Argentina) en el año 2019.

## Referencias bibliográficas

- Arriasecq, I., Cayul, E. y Greca, M. I. (2017). Enseñanza de la teoría general de la relatividad en la escuela secundaria: por qué, qué y cómo. *Revista Enseñanza de la Física*, 29(2), 33-44. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/18802>
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2007). Approaches to the teaching of Special Relativity Theory in High School and University textbooks of Argentina. *Science & Education*, 16(1), 65-86.
- Cayul, E. y otros (2019). Análisis de la primera implementación de la propuesta didáctica «Ondas gravitacionales en contexto para la escuela secundaria: física contemporánea, divulgación científica y género». *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 181-188. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26544/28262>
- Christensen, N. y Moore, T. (2012). Teaching general relativity to undergraduates. *Physics Today*, 65(6), 41-47.
- Wiske, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión*. Paidós.

## Direcciones de contacto

Irene Arriasecq

Esther E. Cayul

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina  
[irenearr@exa.unicen.edu.ar](mailto:irenearr@exa.unicen.edu.ar)  
[ecayul@exa.unicen.edu.ar](mailto:ecayul@exa.unicen.edu.ar)

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en noviembre de 2021 y aceptado en abril de 2022 para su publicación.