

Ondas gravitacionales en contexto para la escuela secundaria: física contemporánea, divulgación científica y género

Gravitational waves in context for high school: contemporary physics, scientific divulgation and gender issues

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Irene Arriasecq^{1,2}, Ileana M. Greca³

¹*ECienTec, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA-CIC, Campus Universitario, CP 7000 Tandil, Pcia. de Bs. As. Argentina.*

²*CONICET.*

³*Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Burgos. España.*

E-mail: irenearth@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Los resultados que se vienen obteniendo desde hace varios años en astrofísica y cosmología, divulgados permanentemente en los medios de comunicación masiva, motivan a los estudiantes de carreras científicas a aprender acerca de la teoría general de la relatividad (TGR). Los alumnos de las escuelas secundarias también están interesados por los mismos fenómenos pero, lamentablemente, no existen libros de texto didácticos para ese nivel educativo. Un caso reciente es la detección de ondas gravitacionales, hace poco más de dos años, que constituye una nueva contrastación empírica de la propia TGR y por lo cual tres investigadores ganaron el premio Nobel de Física. En este trabajo se analiza el diseño de una secuencia didáctica para el abordaje de este tópico desde una perspectiva contextualizada en la naturaleza de la ciencia, en la cual los recursos principales son materiales de divulgación disponibles en diversos formatos. El enfoque permite analizar tanto aspectos conceptuales como aquellos vinculados con la producción del conocimiento científico, entre los cuales se incluyen las cuestiones de género.

Palabras clave: Ondas gravitacionales; Escuela secundaria; Naturaleza de la ciencia; Divulgación científica; Género.

Abstract

The results that have been obtained for several years in astrophysics and cosmology, and that are permanently disseminated in the mass media, motivate the students of scientific careers to learn about the general theory of relativity (TGR). Secondary school students are also interested in the same phenomena but, unfortunately, there are no didactic textbooks for that level of education. Such is the case of the measurement of gravitational waves, just over two years ago, which constitutes a new empirical test of the TGR itself and for which the Nobel Prize in Physics was awarded to three researchers. In this work, the design of a didactic sequence is analyzed to approach this topic from a perspective contextualized in the Nature of Science. The main resources are available divulgation materials presented in various formats. The approach allows analyzing both conceptual aspects and those related to the production of scientific knowledge, gender issues too.

Keywords: Gravitational waves; High school; Nature of Science; Scientific divulgation; Gender issues.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo nos proponemos argumentar sobre la relevancia de abordar el concepto de ondas gravitacionales (también denominadas ondas gravitatorias) en el nivel de enseñanza secundario, describir el marco teórico construido para diseñar una propuesta didáctica, tanto para ser utilizada por los docentes como por los alumnos, e identificar los tópicos generativos que serán vertebradores en la transposición didáctica de un concepto complejo que forma parte de una teoría igualmente compleja como lo es la TGR.

En trabajos de investigación previos se indagaron las principales dificultades que surgen en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la teoría especial de la relatividad (TER), en el nivel de enseñanza secundario de la República Argentina y, a partir de los resultados obtenidos, se elaboró, implementó y evaluó

una propuesta didáctica –con un abordaje contextualizado histórica y epistemológicamente y fundamentado conceptual, psicológica y didácticamente– y se diseñó material escrito (destinado a docentes y a alumnos) para la enseñanza de dicha teoría en ese nivel educativo con la intención de propiciar un aprendizaje significativo de la misma (Arriassecq y otros, 2017).

A partir de los logros obtenidos con la implementación y evaluación de la propuesta didáctica para la enseñanza de la TER, se asume que es posible introducir en el nivel secundario de enseñanza temas complejos de física contemporánea con propuestas didácticas fundamentadas en marcos teóricos sólidos y acompañadas de material diseñado para docentes y alumnos. Este aspecto es fundamental teniendo en cuenta la escasa –o nula– formación de los profesores durante su carrera de grado en estos conceptos y del escaso tiempo que disponen los docentes para que preparen el material necesario.

Por otra parte, los resultados obtenidos en estos últimos años en astrofísica y cosmología, y que se divulgan permanentemente en los medios de comunicación masiva, motivan a los estudiantes de carreras científicas a aprender acerca de la TGR. Christensen y Moore (2012) sostienen que, actualmente, una serie de libros de texto innovadores posibilitan satisfacer esa demanda. Nuestra experiencia docente nos indica que los alumnos de las escuelas secundarias también están interesados por los mismos fenómenos pero, lamentablemente, no existen libros de texto didácticos para ese nivel educativo que contemplen los hallazgos más recientes, interesantes y divulgados fuera del ámbito escolar. Y los que sí los contemplan, lo hacen desde el punto de vista de la divulgación, sin profundizar demasiado en aspectos conceptuales.

Para comprender los nuevos conocimientos científicos en cosmología y astrofísica (la expansión del universo, la materia oscura, los agujeros negros, entre otros) es necesario comprender en profundidad conceptos de la TGR. Un hecho particular es la medición de ondas gravitacionales que, por una parte, constituye una nueva contrastación empírica de la propia TGRy, por otro lado, es un tema que permite un abordaje amplio desde la perspectiva de naturaleza de la ciencia (NdC). Por este trabajo tres investigadores recibieron el premio Nobel de Física en 2017, por sus aportes al Proyecto LIGO que realizó las primeras mediciones de dichas ondas. Los medios de comunicación de diversos países dedicaron tiempo y esfuerzo a difundir la noticia. Recurrieron a astrofísicos que intentaron que los ciudadanos comprendieran de qué se trataba ese hallazgo, por qué conmocionó tanto a la comunidad de físicos y astrónomos, qué implica para la ciencia y fuera de ella y, no menos importante desde la perspectiva de NdC, por qué transcurrieron 100 años desde que fueron predichas por Einstein hasta que lograron detectarse.

Los alumnos de secundaria del área de Ciencias Naturales habitualmente consultan al docente de física por esos temas que son abordados en los medios de comunicación o por películas de ciencia ficción que hacen referencia a conceptos como los mencionados. Sin embargo, si se tiene en cuenta que en la formación de grado los docentes no cursan materias que contemplen estos temas y que son escasos los textos didácticos que abordan la TER (Arriassecq y Greca, 2007; Arriassecq y otros, 2016), es posible inferir que, lamentablemente, el docente no tendrá respuestas sólidas y se perderá una gran oportunidad para mantener el interés de los alumnos por la física.

Además de las razones expuestas para la incorporación de tópicos de TGR en la enseñanza secundaria, existen otras de índole curricular. En los últimos treinta años se han realizado reformas en los currículos de ciencias para el nivel medio en varios países. En el caso de la Física, se han incorporado temas que se encuadran en las denominadas Física Moderna y Física Contemporánea. Los diseños curriculares de Argentina para la escuela secundaria orientada a las Cs. Naturales también contemplan los consensos internacionales al incorporar en sexto año “Física Clásica y Moderna” y, en los tópicos de Física Moderna, el aporte de Einstein mediante la Teoría de la Relatividad (Diseño Curricular para la Educación Secundaria, 2011). Respecto de la TGR, su comprensión es indispensable para abordar posteriormente aspectos básicos de la física de los agujeros negros, relevante para la comprensión de modelos cosmológicos de la astrofísica actual, tema propuesto en “Filosofía e Historia de la Ciencia y la Tecnología” en sexto año de la modalidad Ciencias Naturales.

Por otra parte, en el diseño curricular vigente para la Educación Secundaria orientada a las Cs. Naturales, se enfatiza en la necesidad de fomentar una alfabetización científica y tecnológica (ACT) como parte esencial de la educación general al igual que ocurre en numerosos informes de política educativa de organismos internacionales, tales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y la Organización de Estados Iberoamericanos. Desde esta perspectiva, que se propone en los diseños curriculares para la Educación Secundaria, se pretende desmitificar la producción científica a través de proporcionar a los estudiantes una mirada crítica sobre la ciencia que permita valorar sus alcances y limitaciones, comprendiendo que la ciencia no posee respuestas para todo ya que tiene los límites de sus propios marcos de interpretación y de sus condiciones particulares de producción de conocimiento en consonancia con la sociedad y la cultura en las que se desarrolla.

En este enfoque cobra relevancia analizar en clases de ciencia el contexto de producción de los conocimientos científicos, y no solo los resultados. Esto incluye contextualizar históricamente, analizar las actitudes y los valores. Esto es, analizar la práctica científica atravesada por la dimensión social y cultu-

ral. El aspecto más relevante de este enfoque para nuestra propuesta didáctica es que asumimos la necesidad de presentar los contenidos teniendo en cuenta cuándo surgieron, quién o quiénes lo produjeron y en qué contextos. Particularmente resulta interesante detenerse en las personas involucradas en la producción de conocimiento científico cuando se trata de mujeres. Como sabemos, las mujeres siguen enfrentándose a barreras que les impiden participar plenamente en carreras científico-tecnológicas en todo el mundo (A/RES/70/212 de la ONU) y por ello, el 11 de febrero se celebra el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas con el fin de promover el acceso y la participación en igualdad de condiciones en la ciencia de las mujeres y las niñas.

Considerando este enfoque, parecería más que oportuno usar, como elemento de discusión, la ciencia que está siendo producida de forma contemporánea con nuestros alumnos.

A partir de esta realidad, hemos comenzado a trabajar en el diseño de una propuesta didáctica para abordar tópicos relevantes de la TGR (Arriasecq y otros, 2017). En este trabajo nos focalizamos, en particular, en el desarrollo de una secuencia didáctica para el abordaje en la escuela secundaria de las ondas gravitacionales, su reciente detección, la obtención del premio Nobel por el significado del hallazgo y el rol de una científica argentina en ese proyecto científico.

II. MARCO TEÓRICO

El diseño de la propuesta didáctica para el abordaje de las ondas gravitacionales en la escuela secundaria se fundamenta desde una perspectiva que integra los marcos teóricos de NdC, la Enseñanza para la Comprensión (Wiske, 1999) y el enfoque Física Primero.

La Naturaleza de la Ciencia (NdC), una rama de la Didáctica de las Ciencias Naturales que se focaliza en la enseñanza y el aprendizaje de las disciplinas científicas contextualizadas desde el punto de vista histórico, epistemológico y sociológico y que promueve aprender no solo conocimientos científicos sino también acerca del proceso de construcción de los mismos. Es un campo de innovación didáctica relativamente reciente que emerge como herramienta para promover el pensamiento crítico sobre las ciencias en torno a problemas sociales relevantes (Adúriz-Bravo, 2011). Este enfoque se refiere a los principios e ideas clave que proporcionan una descripción de la ciencia como una forma de conocer, así como las características del conocimiento científico (McComas, Clough, y Almazroa, 1998; Vázquez y otros, 2001; Acevedo Díaz y otros, 2005; Acevedo Díaz, 2008). Es decir, la NdC es un metaconocimiento sobre la ciencia, que proviene del análisis interdisciplinar realizado por los especialistas en historia, filosofía y sociología de la ciencia, pero también por algunos científicos (Acevedo Díaz y otros, 2005).

Esta rama de la didáctica de las ciencias abarca una diversidad de aspectos, tales como qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que emplea para validar y difundir este conocimiento, los valores implicados en las actividades científicas, las características de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico –y viceversa– y las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad. El abordaje de la ciencia en el aula desde la perspectiva NdC propicia, además, la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados (Acevedo, 2007; Adúriz-Bravo, 2005).

El enfoque Física Primero fue propuesto por Hartle (2003), y su texto “Gravity” es el más representativo del mismo. Se focaliza en abordar los conceptos principales de la TGR pero en un nivel matemático que no supere el de primero y segundo año de carreras de grado. El aspecto más destacable del texto es la propuesta de gran cantidad de ejemplos de fenómenos astronómicos y cosmológicos que se explican con la TGR. Aunque el libro de Hartle enfatiza fuertemente los conceptos físicos, en los últimos capítulos del libro proporciona toda la matemática requerida para entender las ecuaciones de Einstein. Sin embargo, lo más interesante del texto es que ha sido diseñado para que la matemática, en una primera aproximación, pueda ser omitida. Sin bien el “enfoque física primero” se ha extendido a nivel universitario en universidades de diversos países, consideramos que puede implementarse en las clases de escuela secundaria si se lo aborda desde un marco teórico adecuado y considerando los resultados de los trabajos de investigación que las autoras vienen desarrollando en el abordaje de TER en la escuela secundaria desde hace más de una década.

En el marco de la Teoría de la Enseñanza para la Comprensión –EpC– (Wiske, 1999), comprender es la capacidad de un sujeto de utilizar lo que sabe, cuando actúa en el mundo, extendiendo, sintetizando y aplicando ese conocimiento de formas creativas y novedosas. Existen cuatro dimensiones fundamentales que articulan el alcance de la comprensión: conocimiento, métodos, propósitos y formas de expresión. Quienes diseñan secuencias didácticas, desde esta perspectiva, deben responder de forma explícita, dentro de sus visiones o abordajes, las siguientes preguntas: ¿qué tópicos vale la pena comprender?, ¿qué deben comprender los alumnos sobre esos tópicos?, ¿cómo se puede propiciar la comprensión? y ¿cómo es posible averiguar qué es lo que comprenden los alumnos? Respecto de la primera pregunta, en esta comuni-

cación nos focalizamos en las ondas gravitacionales como tópico generativo. La respuesta a la segunda pregunta, implica clarificar lo que deben comprender los alumnos de los tópicos seleccionados, mediante la formulación de metas de comprensión explícitas, y establecer los desempeños de comprensión que son las actividades que los alumnos deben lograr realizar y por medio de los cuales demuestran que han alcanzado las metas de comprensión propuestas.

Por otra parte, teniendo en cuenta la cuestión de género, diversos estudios (UNESCO, 2017) apuntan que el trabajo en el aula de “modelos científicos femeninos” mejora la confianza de las niñas en sí mismas y su interés en las asignaturas y carreras científico-tecnológicas, al tiempo que ayuda a reducir las actitudes sexistas (Campbell y Steinbrueck, 1996) sobre dichas asignaturas y carreras y ofrece a las niñas una comprensión auténtica de las mismas.

En la siguiente sección se detallan las metas y desempeños propuestos y se describen los recursos utilizados para propiciar la comprensión y las actividades planteadas para analizar lo que comprenden los alumnos.

III. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

A. Elección de la materia donde abordar el tema ondas gravitacionales

Si bien en este trabajo no se analizan los resultados de la implementación de la secuencia didáctica diseñada (actualmente en curso) es importante describir el contexto para el cual fue pensada. La secuencia didáctica fue elaborada para alumnos de quinto año de una escuela secundaria pública, dependiente de la universidad, con orientación en Ciencias Naturales. En particular para un Taller de Ondas. Sin embargo, es posible adaptarlo para el espacio curricular de Física. Se debe tener en cuenta que los alumnos, en años anteriores, habían cursado la materia Físico-Química en tercer año y, en el mismo año que se desarrolla el Taller de Ondas cursan Física. Aún no han abordado Gravitación, por lo cual la primera aproximación a este concepto será desde la teoría general de la relatividad y no desde la perspectiva clásica, aunque no es el objetivo profundizar en ese concepto.

El concepto de onda será el *subsunso* a partir del cual comenzar a abordar el tópico.

B. Tópicos generativos, metas y desempeños de comprensión

En un estudio previo (Arriasecq y otros, 2017), se determinaron los tópicos que vale la pena comprender, desde el punto de vista del marco teórico de EpC, para la TGR a partir de analizar: los diseños curriculares vigentes en la Argentina; el texto “Gravity” (Hartle, 2003) para analizar qué aspectos se consideran relevantes desde el punto de vista científico; un texto de divulgación, “100 años de relatividad” (Harari y Mazzitelli, 2007) escrito por astrofísicos, interesados en que la teoría de la relatividad sea difundida más allá del ámbito científico; un texto de nivel secundario, “Física Conceptual” (Hewitt, 2007) que en estudios previos (Arriasecq y otros, 2016) ha sido mencionado por los docentes como el texto más utilizado tanto por ellos como por sus estudiantes en el abordaje de contenidos físicos. Además, el libro “Física Conceptual” tiene las mismas características que el texto “Gravity” ya que ambos abordan a la Física desde el enfoque Física primero. Para este trabajo se complementó el análisis con material proveniente de los medios de comunicación que, a partir del año 2016, comenzaron a difundir noticias relacionadas con la detección de ondas gravitacionales y sobre el proyecto LIGO.

En esta etapa de la investigación, se seleccionó el tópico ondas gravitacionales y se determinaron las metas (tabla I) y desempeños de comprensión correspondientes (tabla II).

TABLA I. Metas de comprensión referidas a las ondas gravitacionales en el marco de la TGR.

1. Interpretar el concepto de ondas gravitacionales.
2. Analizar el valor de la medición de ondas gravitacionales como una contrastación de la TGR.
3. Interpretar información periodística vinculada con las ondas gravitacionales.
4. Debatir sobre el proceso de detección de las ondas gravitacionales.
5. Investigar sobre el rol de las mujeres científicas en el proceso de medición de ondas gravitacionales.
6. Analizar las razones por las cuáles tres científicos, de los más de mil que participan del proyecto LIGO, fueron galardonados con el premio Nobel por la detección de ondas gravitacionales en 2017.

TABLA II. Desempeños de comprensión referidas a las ondas gravitacionales en el marco de la TGR.

1. Diferenciar el concepto de ondas gravitatorias de los otros tipos de ondas abordados en el taller.
2. Identificar los experimentos que permitieron contrastar la TGR.
3. Resolver las consignas propuestas en la secuencia didáctica.
4. Formular preguntas específicas para entrevistar a científicos especialistas en la detección 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.

C. Los recursos

Como ya hemos mencionado, los libros de texto didácticos para Física de escuelas secundarias que incorporen temas vinculados con la teoría de la relatividad son más que escasos. Más aún el tema específico de ondas gravitacionales. A modo de ejemplo, el texto Física Conceptual de Hewitt (2007) dedica media carilla a ese tópico.

Sin embargo, como contrapartida abunda material, tanto académico como de divulgación, disponible en diversos medios de comunicación y en internet, fundamentalmente a partir del anuncio en febrero de 2016 de la primera detección de ondas gravitacionales: conferencias de expertos en diversas universidades, notas periodísticas a científicos que trabajan en el tema realizados por periodistas especializados y otros que no lo son, otras realizadas a divulgadores, materiales digitales realizados por integrantes del propio Proyecto LIGO, videos de divulgación, etc.

En nuestro diseño, hemos realizado una selección del material disponible teniendo en cuenta: la fuente (diarios y periódicos de circulación masiva, canales de ciencia de ministerios de educación o de organismos educativos); los comunicadores (que los entrevistados sean científicos expertos en el tema o divulgadores de reconocido prestigio); la forma de comunicación (formatos atractivos y no demasiados extensos, como las charlas TED; entrevistas a científicos con un enfoque no demasiado técnico); y materiales complementarios (descripciones del experimento que se llevó a cabo para detectar las ondas gravitacionales, modelizaciones y simulaciones de conceptos vinculados al de ondas gravitacionales –espacio-tiempo; agujeros negros).

D. Diseño de la secuencia didáctica

La secuencia didáctica¹ está plasmada en un documento escrito que se compartió en la nube con los alumnos y el docente del curso. También se subió todo el material necesario, lecturas² y videos³, contemplando el caso de que hubiera problemas de conectividad en la escuela o bien que los alumnos no contaran con esa posibilidad fuera del ámbito escolar.

Se elaboraron cinco actividades que se corresponden con las metas y desempeños planteados en el apartado anterior.

La Actividad 1, consta de preguntas mediante las cuales se pretende indagar sobre los conocimientos previos que los alumnos podrían tener sobre el tema (¿Con qué otros conceptos científicos se relacionan las ondas gravitacionales? ¿Cómo se generan? ¿Es importante para la ciencia detectarlas? ¿Por qué? ¿Qué hechos podrían ser indicadores de que para la ciencia es importante estudiar las ondas gravitatorias?), acerca de las fuentes de información que habitualmente consultan y sobre el interés que tienen por el tema. En esta primera actividad se comienza a introducir la reflexión sobre aspectos de NdC, tanto

¹ Disponible en https://drive.google.com/file/d/17Qt3lOh1CVx4EOduDfAbmx_IUC40Zmy_/view?usp=sharing

² Disponible en https://drive.google.com/drive/folders/14cEpekIquSs0L7ws01-9L4_1eYYx6AaU?usp=sharing

³ Disponible en <https://drive.google.com/drive/folders/1MwP7-DVRNik9UCijTGJuoA-R3cnCPM2?usp=sharing>

históricos como epistemológicos: ¿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? ¿En qué año ocurrió? ¿Son estudiadas en forma teórica o experimental? ¿Cuánto tiempo transcurrió desde que se predijo su existencia hasta que se lograron detectarlas? ¿Quiénes y dónde las estudian? También se plantea analizar el rol de la tecnología en este acontecimiento científico y aspectos vinculados con la sociología de la ciencia: ¿Es importante para la sociedad el estudio de las ondas gravitacionales? ¿Por qué? ¿Cuál es el rol de las mujeres en el estudio de este fenómeno? ¿Por qué considerás que se le ha dado tanta importancia al tema en los medios de comunicación?

En la Actividad 2 se plantea la revisión de las características principales de los fenómenos ondulatorios, que ya han abordado en el taller, con el objetivo de distinguir, posteriormente, qué aspectos de las ondas gravitacionales también poseen esas características.

Antes de plantear la Actividad 3, se realiza una introducción al tema a partir de los titulares de los diarios y capturas de pantalla de diversos programas de televisión del día en que se comunicó la primera detección de ondas gravitacionales. Además, se destaca la participación de una científica argentina en el proyecto LIGO. Con la misma metodología se presenta la información referida a la obtención del premio Nobel de física, un año después, por tres científicos debido al trabajo vinculado a la detección de las ondas. También se seleccionan titulares de artículo donde se menciona que después de la primera detección se continuó realizando otras.

Luego de la introducción se propone ver y analizar videos cortos. El primero corresponde a una charla TED de la Dra. Gabriela González, científica argentina y vocera del proyecto LIGO. Otra charla TED donde se profundiza acerca de las implicancias de la detección de ondas gravitacionales. Otros dos a entrevistas realizada a un astrofísico, jefe de departamento de Física de la UBA. Una realizada en un noticiero en televisión por un periodista no especialista en ciencia y otra, en Canal Encuentro, realizada por un científico. También se incluye una entrevista a un divulgador científico reconocido internacionalmente. El resto de los videos corresponden a conceptos físicos vinculados con el de onda gravitacional. Entre ellos: gravedad como deformación del espacio-tiempo, agujero negro, choque de agujeros negros, curvatura de la luz en campos gravitacionales intensos.

Como complemento, se proporcionan una serie de artículos de divulgación sobre el significado de las ondas gravitacionales, la importancia de su detección, el proyecto LIGO y las implicancias para la astronomía.

En la Actividad 3, se solicita a los alumnos que identifiquen, en el material periodístico ofrecido, los conceptos que consideren más relevantes y aquellos que no conocen. Posteriormente, deben volver a analizar las consignas de la Actividad 1 e intentar responderlas. En esta actividad se enfatiza en aspectos vinculados con la forma de producir conocimiento y tópicos propios de la epistemología: qué significa que las ondas gravitacionales son una “predicción de la teoría de la relatividad general; qué significa la frase, tantas veces mencionada en los medios, “Einstein tenía razón”; por qué los científicos continúan midiendo ondas gravitacionales luego del primer hallazgo.

Particularmente relevantes, para los alumnos, consideramos que son las consignas que dan la posibilidad de plantear dudas o preguntas que les hayan surgido al analizar los materiales y haber gestionado el encuentro con un integrante del proyecto LIGO para que las responda. En la primera implementación de la propuesta didáctica será la propia vocera del proyecto, la Dra. Gabriela González, quien se entrevistará con los alumnos. Consideramos que el encuentro directo con investigadores es sumamente motivador para los alumnos. En ese sentido, una de las consignas indaga si están considerándola posibilidad de estudiar una carrera científica y cuáles son sus motivaciones.

Por último, en esta actividad se solicita a los alumnos su valoración personal de los materiales utilizados, videos y artículos, en cuanto al interés que les generaron, o no, por el tema y en cuanto a su capacidad para ayudarlos a comprender los fenómenos físicos involucrados.

La Actividad 4 se enfoca en otros aspectos de NdC; más específicamente en cuestiones vinculadas con sociología de la ciencia en general, y las cuestiones de género en particular. Se solicita a los alumnos que indaguen, a partir de la lectura de tres artículos y de otras fuentes que decidan consultar: qué es el premio Nobel, qué tan importante les parece que es, con qué otro tipo de premio, fuera del ámbito científico lo compararían, cuál es su opinión respecto del escaso número de mujeres que han ganado este premio desde que se comenzó a otorgar, si consideran que es más complejo para las mujeres dedicarse a la actividad científica, por qué razón el premio Nobel de física 2017 fue compartido por tres físicos y no lo recibió una sola persona, quiénes han sido los argentinos que han obtenido este premio, qué país tiene más cantidad de premios Nobel y cuáles podrían ser algunas razones.

Por último, la Actividad 5, requiere que los alumnos 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? Optamos por recurrir a esta potente herramienta meta cognitiva porque ha demostrado a través de las décadas ser un instrumento más que adecuado para compartir e intercambiar significados y porque

surgió de la necesidad de hallar una mejor forma de caracterizar la comprensión conceptual de los alumnos, que es uno de nuestros objetivos. Por otra parte, el intercambio de significados emergente en las exposiciones de los mapas conceptuales es una instancia más de aprendizaje y de evaluación de qué han comprendido. Y, fundamentalmente, es un espacio para evaluar aquellos aspectos no conceptuales que también son objeto de nuestra propuesta (como los aspectos epistemológicos, sociológicos y de género).

IV. COMENTARIOS FINALES

En el siglo veintiuno la física se revoluciona comprobando teorías que ya tienen un siglo. Los medios de comunicación dedican tiempo, en unos casos, y espacio, en otros, a difundir esos avances. Los alumnos suelen manifestar entusiasmo por estos temas que, en diversas ocasiones, suelen ser abordados por el cine o las novelas de ciencia ficción. Aunque a veces dicho material tiene un respaldo científico de altísimo nivel (como ejemplo, solo mencionamos a uno de los mejores exponentes de los últimos años y que se refiere a algunos de los tópicos abordados en este trabajo: la película “Interstellar”), en otras ocasiones se enfatiza más la ficción que la ciencia, dado que se trata de productos culturales orientados al entretenimiento y no a la enseñanza. Para quien esté interesado, las posibilidades de acceder a esa información no tienen límites. Los formatos son muy variados: entrevistas a especialistas, videos informativos cortos, documentales más extensos, con grandes tecnicismos que requieren conocimientos científicos previos así como documentales de divulgación. Sin embargo, en las clases de física de la escuela secundaria apenas si abordamos, en el mejor de los casos, algunos temas de comienzo del siglo veinte. La mayoría de los profesores no estamos formados, es verdad. Tampoco se han publicado textos didácticos que aborden temas de física contemporánea. También es cierto que solo con la voluntad del docente, el entusiasmo de los alumnos y los materiales de divulgación, escogidos aleatoriamente y sin una trasposición didáctica adecuada, es poco probable que el docente logre la comprensión de determinados conceptos por parte de los alumnos. En el mejor de los casos, los alumnos podrán realizar una descripción del fenómeno en cuestión, pero no una comprensión de los conceptos involucrados.

Cuando comenzamos, hace más de una década, con nuestra línea investigación en enseñanza de la TER en la escuela secundaria ya habíamos decidido que, con el tiempo, continuaríamos investigando en la enseñanza de conceptos vinculados con la TGR. Fue así que comenzamos, en primer lugar, a formarnos en contenidos y a establecer vínculos con especialistas en astrofísica. Desde comienzos de 2016, hemos comenzado a recopilar información vinculada con las ondas gravitacionales, tanto de los medios de comunicación como aquella proporcionada por especialistas. Entre otros, la propia vocera del proyecto, una astrofísica argentina. En 2017, con la obtención del premio Nobel por parte de tres integrantes del Proyecto LIGO, que permitió detectar por primera vez ondas gravitacionales, el tema cobró más importancia aun en los medios de comunicación y se ampliaron las perspectivas de análisis a otros aspectos vinculados con la sociología de la ciencia: qué significa para la comunidad científica ese galardón, las posibilidades de las mujeres para obtenerlo y el rol de la mujer en la ciencia y en la física en particular.

En este trabajo hemos presentado el proceso de investigación que permitió desarrollar una secuencia didáctica, que contempla la elaboración de una guía de trabajo para docentes y alumnos que incluye poner a disposición de los usuarios videos y textos con calidad para el trabajo en el aula, con el objetivo abordar el tópico ondas gravitacionales en la escuela secundaria desde un marco teórico que conjuga la NdC y la EpC.

En el mes de julio del corriente año, la secuencia didáctica se ha implementado, por primera vez, en un taller de ondas para la orientación ciencias naturales en quinto año de una escuela secundaria dependiente de la UNICEN. En un próximo trabajo reportaremos los resultados de dicha implementación y las modificaciones que se realicen a partir de los resultados de la investigación.

REFERENCIAS

Acevedo Díaz, J. A., Vázquez A., Martín, M., Oliva, M., Acevedo, P., Paixao, M. y Mannasero, M. (2005). Naturaleza de la Ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.

Acevedo, J. A. (2007). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.

Adúriz Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Adúriz Bravo, A. (2011). Desde la enseñanza de los “productos de la ciencia” hacia la enseñanza de los “procesos de la ciencia” en la Universidad. Colección de cuadernillos de actualización para pensar la Enseñanza Universitaria. Año 6, nº3. Universidad Nacional de Río Cuarto.

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.

Arriasecq, I. y Greca, I. (2012). A Teaching–Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. *Science & Education*, 21(6),827–851.

Arriasecq, I., Seoane, E., Cayul, E. y Greca, I. (2016). Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria: perspectiva de los docentes y análisis de textos. *Revista Enseñanza de la Física*, 28 (Extra), 15–22. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15618/15425>.

Arriasecq, I., Greca, I. y Cayul, E (2017). Secuencias de enseñanza y aprendizaje basadas en resultados de investigación: propuesta de un marco teórico para el abordaje de la teoría especial de la relatividad. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 133–155. Recuperado de <http://ensciencias.uab.es/article/view/v35-n1-arriasecq-greca-cayul>

Christensen, N. y Moore, T. (2012). Teaching general relativity to undergraduates. *Physics Today*, 65(6), 41-47.

Campbell, P. y Steinbrueck, K. (1996). Striving for gender equity: National programs to Increase student engagement with math and science. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.

Diseño Curricular para la Educación Secundaria, 6to. año: Orientación Cs. Naturales, Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Bs. As., 2011.

Harari, D. y Mazzitelli, D. (2007). *100 años de relatividad*. Buenos Aires: Eudeba.

Hartle, J. B. (2003). *Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity*. San Francisco, Estados Unidos: Addison–Wesley.

Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual*. México: Pearson Educación.

Levrini, O. (2014). The role of history and philosophy in research on teaching and learning of relativity. En *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*,157–181. Netherlands: Springer.

Mccomas, W. F., Clough, M. P. y Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. *Science & Education*, 7(6), 511-532.

Unesco (2017). Cracking the code. <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002534/253479e.pdf>

Vázquez, A., Acevedo, J. A., Manassero, M. A. y Acevedo, P. (2001). Cuatro Paradigmas Básicos Sobre La Naturaleza De La Ciencia. *Argumentos De Razón Técnica*, 4, 135-176. <Http://Www.Oei.Es/Salactsi/Acevedo20.Htm>.

Wiske, M. (1999). *La Enseñanza para la Comprensión*. Buenos Aires: Paidós.