

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

**Analysis of the first implementation of the didactic proposal
“Gravitational waves in context for high school: contemporary
physics, scientific divulgation and gender”**

Esther Cayul^{1,4}, Irene Arriasecq^{1,2}, Ileana M. Greca³, y Adrián Givonetti⁴

¹*ECienTec, Facultad de Ciencias Exactas, CIC, UNCPBA, Paraje Arroyo Seco, CP 7000 Tandil, Buenos Aires. Argentina.*

²*CONICET*

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

⁴*Escuela Nacional Ernesto Sábato*

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

Resumen

Este trabajo analiza la primera implementación de una secuencia didáctica elaborada para el abordaje, en la escuela secundaria, del concepto “ondas gravitacionales”. La secuencia está contextualizada en los marcos teóricos Física Primero, naturaleza de la ciencia y Enseñanza para la Comprensión. Los recursos principales utilizados son materiales de divulgación disponibles en diversos formatos (textos, videos, animaciones) con un enfoque que permite analizar tanto aspectos conceptuales como aquellos vinculados con la producción del conocimiento científico, entre los cuales se incluyen las cuestiones de género. Los desempeños de comprensión logrados por los alumnos son alentadores, e indican el alcance de las metas propuestas a partir del tópico generativo ondas gravitacionales, como también de aspectos epistemológicos y sociológicos de naturaleza de la ciencia.

Palabras clave: Ondas Gravitacionales; Teoría General de la Relatividad; Educación Secundaria Ciclo Orientado; Enseñanza para la Comprensión; Naturaleza de la Ciencia.

Abstract

This work analyzes the first implementation of a didactic sequence designed with the purpose of approaching the concept "gravitational waves" at high school level. The sequence is contextualized in the theoretical frameworks of Physics First, Nature of Science and Teaching for Understanding. The main resources used are materials available in various formats (texts, videos, animations) with an approach that allows analyzing both conceptual aspects and those related to the production of scientific knowledge, among which gender issues are included. The results are encouraging in terms of the comprehension performances achieved by the students. This indicates the scope of the proposed goals from the generative topic of gravitational waves, as well as epistemological and sociological aspects of the nature of science.

Keywords: Gravitational Waves; General Relativity Theory; High School Natural Science Oriented Cycle; Teaching for Understanding; Nature of Science.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la cosmología y la astrofísica han corroborado aspectos conceptuales de diversas teorías y se han propuesto otros nuevos. Esto ha generado un enorme interés dentro de la población y entre los estudiantes. Así, hemos podido comprobar que a estudiantes de secundaria de Argentina les interesaría profundizar en estas cuestiones que conocen a través de diversos medios de comunicación tales como dibujos animados, películas, libros, videos en internet y en televisión donde se abordan temas como viajes al espacio, relatividad del tiempo, agujeros negros, agujeros de gusanos, dilatación del tiempo.

po, entre otros. Sin embargo, los contenidos mencionados no se trabajan en las clases de Física a pesar de que suelen ser los que despiertan mayor interés en los estudiantes (Arriasecq y otros, 2017). Cabe mencionar que para comprender estos aspectos se deben abordar algunos tópicos de la Teoría General de la Relatividad (TGR).

En la escuela secundaria superior, de acuerdo con los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios (NAP) deberían abordarse contenidos sobre la Teoría Especial de la Relatividad (TER) y de la TGR. En el documento elaborado por el Consejo Nacional de Educación (2012), en la sección destinada a los contenidos de Física, se plantea:

El conocimiento de nociones básicas de teorías como la Mecánica Cuántica o la Relatividad que permiten interpretar algunos fenómenos físicos, para los que explicaciones desde la física newtoniana o el electromagnetismo clásico, por ejemplo, resultan limitadas. Esto supone el análisis de los procesos físicos sobre los que se basa el funcionamiento de dispositivos tecnológicos respaldados en esas teorías (por ejemplo: horno a microondas, GPS, tomógrafos computados, LCD o reactores nucleares).

Por estas razones, Arriasecq y otros (2017) comenzaron a desarrollar el marco teórico para el diseño de una secuencia didáctica y en Arriasecq y Greca (2018) se presenta esta secuencia denominada “Ondas gravitacionales en contexto para la escuela secundaria: física contemporánea, divulgación científica y género”, con el objetivo de abordar las ondas gravitacionales (OG), su detección, la obtención del premio Nobel de Física en 2017 por tres físicos pertenecientes al proyecto LIGO así como también el rol destacado de una investigadora argentina en ese proyecto, que permite debatir cuestiones de género vinculados con la actividad científica.

Este trabajo se focaliza en el análisis de la primera implementación, a modo de prueba piloto, de la secuencia didáctica¹ mencionada anteriormente y de los resultados obtenidos.

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 Naturaleza de la Ciencia (NdC), la Enseñanza para la Comprensión (EpC) (Wiske, 1999) y el enfoque Física Primero.

La NdC es 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, que promueve aprender no solo conocimientos científicos sino también acerca del proceso de construcción de los mismos. 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, 2007).

El enfoque Física Primero fue propuesto por Hartle (2003), y su texto “Gravity” es el más representativo del mismo. Este texto 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. Sin bien el enfoque Física Primero se ha extendido a nivel universitario en universidades de diversos países, consideramos que también puede implementarse en las clases de Física de la 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 para el abordaje de la TER en la escuela secundaria desde hace más de una década.

En el marco de la 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 que articulan el alcance de la comprensión: conocimiento, métodos, propósitos y formas de expresión. Al diseñar secuencias didácticas desde esta perspectiva se deben responder, de forma explícita, 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? Para responderlas, Arriasecq y Greca (2018) se focalizaron en las ondas gravitacionales como tópico generativo, propusieron qué aspectos vinculados con las OG deberían comprender los estudiantes de los tópicos seleccionados mediante la formulación de metas y desempeños de comprensión y, además, propusieron actividades para propiciar la comprensión. En este trabajo, se analizan los resultados de la implementación de la propuesta didáctica, en cuanto a la comprensión de los estudiantes respecto al tópico generativo propuesto.

¹ Disponible en <https://drive.google.com/file/d/1PLal7y-puAckrHPKVcCQ3QrlotKwvYhv/view?usp=sharing>

III. CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS CLASES

La secuencia didáctica fue implementada en un taller de “Ondas” obligatorio para la modalidad Ciencias Naturales, con alumnos de quinto año de una escuela secundaria pública dependiente de la universidad, en la ciudad de Tandil (Argentina) durante el año 2018.

La modalidad de cursada es de dos horas semanales y en ese año lo cursaron veintitrés estudiantes (17 mujeres y 6 varones). En el taller se profundizan conceptos relacionados con las ondas mecánicas y electromagnéticas. Los alumnos han cursado Físico-Química en primer y segundo año, Física en tercer año (fundamentalmente, magnitudes escalares y vectoriales en física, conceptos de estática e introducción a la cinemática) y, en simultáneo con el taller, abordan electrostática y electricidad en la asignatura Física.

Uno de los principales recursos en el aula suelen ser los libros de textos que permiten a los estudiantes profundizar sobre los conceptos desarrollados en las clases de Física. Sin embargo, para los temas correspondientes a los tópicos de física contemporánea son muy pocos los textos que abordan estos contenidos en el nivel secundario. Si los desarrollan, lo hacen de manera escueta, como por ejemplo el texto Física Conceptual de Hewitt (2007) que dedica media carilla al tópico OG. Por esta razón, una de las autoras de este trabajo propuso al docente incorporar el concepto de OG con el apoyo de un material elaborado por ella. También se propuso al docente acompañar y asesorar en cada una de las clases.

El docente aceptó la propuesta, para la cual se pautó emplear las últimas cuatro clases del taller cuatrimestral. La mayor dificultad durante la implementación de la secuencia, además de la complejidad de los conceptos abordados, consistió en diversos contratiempos que impidieron el normal desarrollo de las clases. Por ejemplo, suspensión o reducción del horario de clases debido al Mundial de Fútbol.

A. Expectativas

La expectativa de este trabajo es analizar si las metas de comprensión formuladas, para el tópico generativo OG, fueron alcanzadas por los estudiantes. Entre ellas: 1) analizar el valor de la medición de ondas gravitacionales como una contrastación de la TGR; 2) interpretar la información periodística vinculada con las OG; 3) debatir sobre el proceso de detección de las OG; 4) investigar acerca del rol de las mujeres científicas en el proceso de medición de OG; y, 5) analizar las razones por las cuáles tres científicos, de los más de mil que participan del proyecto *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO)* donde se midieron por primera vez OG que Einstein predijo hace más de 100 años, fueron galardonados con el premio Nobel por la detección de las mismas en 2017.

El logro de las metas mencionadas anteriormente se puede inferir a partir del análisis de las resoluciones de las actividades que los alumnos debían realizar. Los desempeños de comprensión esperados para los estudiantes son los siguientes: 1) que puedan establecer diferencias y semejanzas del concepto de OG con los otros tipos de ondas abordados en el taller; 2) que analicen los experimentos que permitieron contrastar la TGR; 3) que resuelvan las consignas propuestas en la secuencia didáctica; 4) que elaboren y formulen preguntas específicas a científicos especialistas en la detección de OG; y, 5) que entrevisten a una investigadora argentina, con rol protagónico en el proyecto LIGO, para indagar sobre las principales dificultades que ha enfrentado en sus trabajos por su condición de mujer.

B. Recursos

El recurso principal es la propuesta didáctica mencionada anteriormente que contiene: videos, notas de periódicos nacionales e internacionales, charlas TED y TEDx, entrevistas a científicos con un enfoque no demasiado técnico, 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, agujeros negros).

Las clases se desarrollaron en el laboratorio de informática de la escuela, ya que se necesitaba el uso de computadoras con conexión a internet y, además, era el lugar adecuado para que trabajaran los estudiantes. Se contaba con once computadoras para veintitrés estudiantes razón por la cual se trabajó en grupos de dos o tres estudiantes por cada computadora. La guía de actividades con el material bibliográfico se compartió a cada uno de los estudiantes a través de una carpeta virtual (*drive*).

IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO EN CLASE

Para cada actividad propuesta en la guía elaborada se solicitó a los estudiantes que la resolvieran en un documento *Word* para que al finalizar cada una de ellas las enviaran por correo electrónico al docente. A continuación, se describen momentos de cada una de las clases:

Primera clase: el docente a cargo propuso a los estudiantes abordar, durante las últimas cuatro clases del taller, el concepto de OG. Además, presentó a las docentes investigadoras que estarían acompañando, les comentó el rol de cada una de ellas en las clases, les explicó la metodología de trabajo (cómo se trabajaría con el material elaborado por una de ellas, que la mayor parte de las actividades demandaría de ellos lectura crítica, análisis y reflexión a partir de textos, videos y charlas TED y TEDx, simulaciones, etc.)

Se presentó el material elaborado y se les solicitó que antes de informarse sobre el tema en cuestión, realizarán la Actividad 1, con preguntas para indagar sus conocimientos previos sobre el tema, acerca de las fuentes de información que habitualmente consultan y sobre el interés por el tema. En esta primera actividad se comenzó a introducir la reflexión sobre aspectos de NdC, tanto históricos como epistemológicos y también se planteó analizar el rol de la tecnología en este acontecimiento científico. Se introdujeron, además, cuestiones vinculadas con la sociología de la ciencia.

Algunas de las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas formuladas fueron las siguientes:

Escuché el término “ondas gravitacionales” en uno o dos videos de YouTube. Al principio no me llamó la atención hasta que escuché que mencionaron a Einstein y el cosmos.

Lo que entiendo por ondas gravitacionales es que son aquellas ondas que miden o alteran la gravedad alrededor nuestro.

El científico que planteó por primera vez la existencia de OG fue Albert Einstein con su teoría de la relatividad general.

Para la ciencia podría ser importante el estudio de estas ondas gravitatorias debido a que esto podría aumentar nuestro conocimiento respecto al cosmos.

Al finalizar con la Actividad 1, se solicitó a los estudiantes que continuaran con la Actividad 2 y las lecturas sugeridas para la clase siguiente.

Segunda clase: los estudiantes manifestaron que no habían tenido tiempo de realizar la Actividad 2, debido a que estaban en período de evaluaciones integradoras, así que se la desarrolló en clase. La actividad solicitaba responder seis preguntas referidas a las OG, que respondieron de la siguiente manera:

No necesitan de un medio para desplazarse, al igual que las ondas electromagnéticas.

Deberían poder desplazarse a través del espacio (del vacío) o por algún medio donde exista una perturbación.

La velocidad de propagación sería comparable con la velocidad de la luz en el vacío.

Se requiere un detector especial para detectar OG, ya que estas no se podrían percibir por el ojo humano.

Las OG deberían tener las características de otros fenómenos ondulatorios tales como: amplitud, frecuencia, intensidad, velocidad, magnitud, longitud. tener la capacidad de “rebotar” en un objeto, volviendo a recorrer el mismo camino anteriormente hecho, pero en otro sentido.

Cuando terminaron de responder las preguntas dadas, se les pidió que comenzaran a leer el material proporcionado a partir de la página 4, donde se les brinda información sobre estas cuestiones, se muestran noticias de diferentes medios nacionales e internacionales sobre la medición de estas ondas, quienes son los científicos que ganaron el premio nobel 2017 por su trabajo en el proyecto LIGO y el rol destacado que tiene la Dra. Gabriela González, física argentina conocida, fundamentalmente, en el ambiente científico por sus contribuciones en la investigación sobre OG y por ser la portavoz y coordinadora de este proyecto. Al finalizar la clase, que duró una hora, se les solicitó a los estudiantes que iniciaran la Actividad 3 en sus hogares. Debían mirar y analizar videos propuestos en el Anexo 1, leer los textos del Anexo 2 del documento compartido y resolver algunas actividades propuestas.

Tercera clase: Se respondieron dudas sobre consignas de la Actividad 2 y se propuso comenzar a trabajar en la resolución de la Actividad 3. Algunas de las respuestas brindada por los estudiantes fueron:

Términos que nos parecen importantes: LIGO, es el instrumento óptico más preciso que existe y fue el que detectó las ondas. Agujero Negro: la fusión de ellos generó las ondas que pudimos percibir. Ondas Gravitacionales: la comprobación de su existencia permite corroborar la veracidad de lo predicho por Einstein hace casi 100 años.

Las ondas gravitacionales son perturbaciones en el espacio-tiempo que se generan por eventos de gran intensidad como la colisión de dos agujeros negros o estrellas de neutrones que liberan energía en forma de ondas.

Se dice que "Einstein tenía razón" ya que fue él quien descubrió la existencia de las ondas gravitacionales, que un siglo más tarde fue detectada la primera onda, por eso Einstein tenía razón.

La Teoría General de la Relatividad predice que la aceleración de grandes masas en el universo libera energía en forma de ondas que curvan el espacio-tiempo, se dice que es una predicción ya que esto se afirma con las ondas mencionadas anteriormente.

Nos gustaría seguir una carrera vinculada a la física o astrofísica. Para poder entender más el universo que nos rodea.

Al finalizar esta actividad se propuso a los estudiantes continuar con la Actividad 4 que se enfoca en otros aspectos de NdC; más específicamente en cuestiones vinculadas con sociología de la ciencia en general, y cuestiones de género. El tiempo destinado a esta clase concluyó sin que terminasen de resolver la Actividad 4. Se solicitó que la finalizaran en sus hogares, junto con la Actividad 5, realización de un mapa conceptual, que diera respuesta a la pregunta de enfoque: ¿Por qué la detección de ondas gravitacionales es importante para la ciencia y la sociedad? Se optó por recurrir a esta potente herramienta metacognitiva porque ha demostrado a través de varias décadas ser un instrumento más que adecuado para compartir e intercambiar significados y porque respondió a la necesidad de hallar una mejor forma de caracterizar la comprensión conceptual de los alumnos, que era uno de nuestros objetivos. Se acordó con los estudiantes que en la última clase se realizaría una entrevista a la Dra. Gabriela González, vía Skype, y se les solicitó que redactaran preguntas acerca de dudas específicas relacionadas con conceptos vinculados a las OG que se hubieran generado al realizar las actividades, como así también sobre temas de interés acerca de la actividad científica en general y el rol de la mujer en particular.

Cuarta clase: En esta clase nos trasladamos, los docentes y estudiantes, hasta el Auditorium de la Biblioteca Central de la universidad desde donde se realizó una videoconferencia con la Dra. Gabriela González. Los alumnos dialogaron con la investigadora quien, con gran disposición y amabilidad, interactuó con ellos durante más de una hora y respondió preguntas que surgieron del trabajo realizado en clase. Sin dudas, una experiencia académica enriquecedora para alumnos, docentes e investigadores. A continuación, se transcriben algunas de las preguntas formuladas por los estudiantes:

¿Cuándo te decidiste por tu carrera de estudio?

¿El hecho de ser mujer representó algún inconveniente para tu participación en el proyecto?

¿Cómo se fue descubriendo que los materiales que conforman LIGO y VIRGO eran los necesarios para averiguar estas ondas?

¿Cómo se forman los agujeros negros?

¿Cómo se sabe que el "choque" entre dos agujeros negros fue hace 1300 años?

¿Cuáles son los patrones de propagación de las ondas gravitacionales?

¿Es posible que gracias a este descubrimiento se pueda garantizar que existe el "fin del universo"?

¿Se puede adelantar el tiempo que se indica en las investigaciones?

¿Cuáles serían las secuencias que sucederían en nuestro planeta para que se efectúe realmente un cambio en el espacio-tiempo?

¿En algún momento se pensó en abandonar el proyecto por tanta tardanza? Ya que una posibilidad era que esto no se iba a alcanzar.

¿Se sienten afortunados de ser partícipes del surgimiento de esta nueva forma de mirar el universo?

¿Por qué consideran que es un gran avance en el ámbito de la ciencia?

Las dimensiones del cuerpo que es "golpeado" por las ondas, ¿cambia para siempre?

Todas las preguntas elaboradas por los estudiantes, como otras que surgieron en el momento de la entrevista, fueron respondidas por la Dra. Gabriela González. Al finalizar la última clase quedó pendiente la entrega de la Actividad 5 (mapa conceptual, de manera individual), que dé respuesta a la pregunta de enfoque: ¿Por qué la detección de OG es importante para la ciencia y la sociedad? El docente les solicitó a los alumnos que realizarán esta actividad y que cualquier duda que tuvieran en la elaboración del mapa podían consultar. Se acordó la entrega para la semana siguiente.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se mencionó en el apartado III.A. Expectativas, se formularon metas y desempeños de comprensión para el tópico generativo OG. En esta sección se analiza si fueron alcanzados por los estudiantes.

En la tabla I, las metas se identifican con números y la correspondencia con las actividades propuestas, con "X" en la secuencia para alcanzar dichas metas. Si las metas de comprensión no se encuentran presentes en las consignas de las actividades, se coloca "No corresponde". Por ejemplo, las Actividades 1 y 2 indagan conocimientos, por este motivo las metas de comprensión están ausentes.

TABLA I. Correspondencia entre metas de comprensión y actividades.

ACTIVIDADES	Meta 1	Meta 2	Meta 3	Meta 4	Meta 5
3					
a)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
b)	X	X	X	X	X
c)	No corresponde	X	X	No corresponde	No corresponde
d)	X	X	X	No corresponde	No corresponde
e)	X	X	X	No corresponde	No corresponde
f)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
g)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
h)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
4					
a)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
b)	No corresponde	X	No corresponde	X	No corresponde
c)	No corresponde	X	No corresponde	X	No corresponde
d)	No corresponde	X	No corresponde	X	No corresponde
e)	X	X	No corresponde	No corresponde	X
f)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde
g)	No corresponde	X	No corresponde	No corresponde	No corresponde

Se definieron las siguientes categorías para analizar los desempeños de comprensión:

- No alcanzado: más de la mitad de las consignas no fueron resueltas o la resolución fue incorrecta.
- Parcialmente alcanzado: al menos la mitad de las consignas fueron resueltas correctamente o la mayoría fueron resueltas de forma parcialmente correcta.
- Alcanzado: más de la mitad de las consignas fueron resueltas correctamente.

Se presenta a continuación un cuadro donde los desempeños de comprensión se identifican con números y se indica la correspondencia con las actividades propuestas en la secuencia para promover dichos desempeños. Si los desempeños de comprensión no se contemplan en las consignas de las actividades, se coloca “No corresponde”.

TABLA II. Correspondencia entre desempeños de comprensión y resolución de las actividades.

ACTIVIDADES	Desempeño 1	Desempeño 2	Desempeño 3	Desempeño 4	Desempeño 5
3					
a)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
b) iii), v), vi)	Alcanzado	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
b) vii), viii), xi) y xii)	No corresponde	Parcialmente-Alcanzado	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
b) xiv)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
c)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
d)	No corresponde	Alcanzado	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
e)	No corresponde	Alcanzado	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
f)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado
g)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	Alcanzado	No corresponde
h)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
i)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
j)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
k)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde

TABLA II. (continuación).

ACTIVIDADES	Desempeño 1	Desempeño 2	Desempeño 3	Desempeño 4	Desempeño 5
4					
a)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
b)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
c)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	Alcanzado
d)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	Alcanzado
e)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	Alcanzado
f)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
g)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde
h)	No corresponde	No corresponde	Alcanzado	No corresponde	No corresponde

Respecto de las metas 1, 4 y 5, relacionadas con la NdC, se han analizado las siguientes cuestiones epistemológicas: metodología de producción de conocimiento científico, formas de trabajo en ciencia y el rol de las teorías en la actividad científica. En la actividad 3, incisos *b*, *c*, *d*, *e*, y *f*, y en la actividad 4 en la consigna *e* se abordan estos aspectos.

De las respuestas se puede inferir que los estudiantes comprendieron la forma de trabajar de la comunidad científica, la importancia que tiene la contrastación empírica de las teorías y la metodología de construcción y validación del conocimiento científico. A modo de ejemplo, los alumnos manifiestan que:

Las OG son estudiadas por grupos de científicos como los que trabajan en LIGO, en EEUU, y Virgo, en Italia, quienes emplean como herramienta grandes instrumentos ópticos de precisión denominados interferómetros.

El primer científico que planteó la existencia de estas fue Albert Einstein, en el marco teórico de la Teoría de la Relatividad General. Él pensaba que iba ser dificultoso comprobarlas de forma experimental, ya que las mismas se producían a millones de años luz de la tierra y llegaban en forma tenue, resultando muy difícil su detección.

En cuanto a aspectos sociológicos vinculados con la NdC, se indagaron cuestiones referidas a la vocación científica, el rol de la mujer en ciencia y la necesidad de colaboración de numerosos grupos internacionales. En la actividad 1b xiv, en la actividad 3, incisos *b* y *h* y en la actividad 4, incisos *b*, *c*, *d* y *e* se abordan estos aspectos. Respecto de la vocación científica, la mitad de los estudiantes respondió que le interesaría seguir una carrera vinculada a los temas abordados en la secuencia y algunos manifestaron que este interés surgió a partir de trabajar estos contenidos. Respecto al rol de la mujer en ciencia todos los estudiantes acordaron con lo manifestado por la Dra. González en la entrevista. A modo de ejemplo, un grupo expresó:

Pensamos igual que ella, que debería de haber más mujeres involucradas en el ámbito de la ciencia, y no que se le vea como alguien incapaz o menos capaz que un hombre en este campo. Tenemos las mismas capacidades, por lo que debería dejarse de desvalorizar el trabajo de una mujer en la ciencia solo porque es mujer. Como ya antes dicho, esto no implica que todos recreen esta actitud, hoy en día esto ha disminuido en gran medida la discriminación hacia la mujer, pero aún sigue habiendo cierto prejuicio y un menor porcentaje de mujeres en esta área.

En cuanto a la vocación científica, los estudiantes manifiestan, por ejemplo:

...a partir de este trabajo pudimos informarnos sobre cosas nuevas que nos parecen muy interesantes.

Personalmente ignorando toda la dificultad que se le ve al progreso de la ciencia diría que sí, debido a que es una exploración que todavía no está completamente desarrollada y que falta mucho por aprender en este ámbito universal, todo esto comenzó desde chico al interesarme la astronomía.

A partir del análisis de los desempeños, presentado en la tabla 2, así como de las respuestas anteriores, es posible afirmar que las metas propuestas fueron alcanzadas en esta primera implementación, con los inconvenientes debido a las limitaciones de tiempo y el contexto ya mencionado. Los resultados son más que alentadores para realizar los ajustes necesarios en la propuesta e implementarla nuevamente.

VI. COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se analizó la primera implementación, realizada en 2018, de una secuencia didáctica para el abordaje del concepto “ondas gravitacionales”, y el acercamiento de los alumnos a otros conceptos vinculados con éste tales como “agujeros negros”, “estrella de neutrones” y un modelo diferente al newtoniano para interpretar la noción de “gravedad”.

Se trata de una propuesta innovadora dado que aborda tópicos de física contemporánea que habitualmente no se trabajan en la escuela secundaria, a pesar de ser un tema que motiva a los adolescentes, tiene gran difusión mediática y es contemplado en los diseños curriculares. Por otra parte, el material elaborado y recopilado constituye un aporte, para los docentes y los alumnos, teniendo en cuenta que es muy escaso el material disponible en nuestro país. Otro aspecto a destacar, es que en la clase final del taller los alumnos tuvieron la posibilidad de entrevistarse en directo con la vocera del proyecto LIGO quien les respondió dudas y preguntas. Incluso, algunas inquietudes planteadas por los alumnos trascendieron cuestiones conceptuales y abrieron el debate en torno al rol de la mujer en la actividad científica. También se abordaron características del trabajo científico actual, tales como, la necesidad de colaboración internacional y participación de más de mil científicos para concretar un proyecto de la envergadura de LIGO.

Los resultados de la primera implementación son alentadores en términos de los desempeños de comprensión logrados por los alumnos que indican el alcance de las metas propuestas a partir del tópico generativo ondas gravitacionales como así también de aspectos epistemológicos y sociológicos de naturaleza de la ciencia. Sin embargo, en la próxima implementación que se realizará este año se contará con dos clases más que permitirán mayor profundidad en los debates generados en el aula. Respecto de la propuesta didáctica, se incorporó una consigna en la actividad 2 donde se solicita que luego de la lectura de artículos y análisis de videos se reelaboren las respuestas dado que los alumnos por primera vez se enfrentan con conceptos nuevos, como el de espacio-tiempo.

Por otra parte, en la nueva implementación se utilizará la plataforma *Classroom* de *Google*. Las ventajas de su utilización consisten en que cada alumno deja plasmado su trabajo individual en la plataforma y permite un seguimiento personalizado por parte del docente.

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 Díaz, 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.
- 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.
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2018). Ondas gravitacionales en contexto para la escuela secundaria: física contemporánea, divulgación científica y género. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(Extra),27-34.
- Ciclo Orientado de Educación Secundaria, Cs. Naturales (2012). Consejo Federal de Educación. Núcleos de Aprendizajes Prioritarios. pp.7.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wiske, M. (1999). *La Enseñanza para la Comprensión*. Buenos Aires: Paidós.