

Contribuciones del cine y la psicología a la enseñanza de la física y otras ciencias naturales. El caso *Copenhagen*

Contributions of cinema and Psychology in Physics and other natural sciences education. The *Copenhagen* case

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Irene Cambra-Badii^{1,2}, Juan Jorge Michel-Fariña¹ y María Gabriela Lorenzo^{1,2}

¹Universidad de Buenos Aires. Junín 956, CP 1113, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mail: irenecambrabadii@gmail.com

(Recibido el 13 de marzo de 2017; aceptado el 26 de diciembre de 2017)

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de la película *Copenhagen* a partir de un enfoque multidimensional producto de la combinación de estrategias propias de la didáctica de las ciencias, la bioética y la narrativa cinematográfica, con los aportes de la psicología, empleando un modelo clínico-analítico desde una perspectiva crítica. La narrativa cinematográfica ha demostrado ser un excelente recurso para abordar la problemática de la naturaleza de las ciencias, dado que permite acercarnos a diferentes situaciones dilemáticas en el campo del conocimiento. Tomando como punto de partida el caso del desarrollo nuclear durante la Segunda Guerra Mundial y otras cuestiones de la actividad científica, como el lenguaje científico, los diferentes roles dentro la estructura científica (como los directores de investigación, becarios, la participación de las mujeres en los proyectos) y los procesos de construcción de conocimiento, se propone una reflexión acerca de las posibles consecuencias de la investigación científica sobre la vida cotidiana de las personas y los límites en el uso del conocimiento y los productos de la ciencia por parte de los científicos y de otros actores sociales. De este modo, a partir de la narrativa cinematográfica, se ofrece un análisis renovado de la actividad científica que abre nuevas posibilidades para el pensamiento y la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave: Cine; Naturaleza de la ciencia; Enseñanza de la ciencia; Formación de profesores; *Copenhagen*.

Abstract

This paper presents a study of the film *Copenhagen*, based on a multidimensional approach resulting from the combination of didactics of science, bioethics and film narratives strategies, with the contribution of psychology, making use of a clinical-analytical model from a critical perspective. The film narratives have proven to be an excellent resource to address the problem of the nature of science, since it allows us to approach different dilemmatic situations in the field of knowledge. Taking as a starting point the case of nuclear development during the Second World War and other issues of scientific activity, such as scientific language, the different roles within the scientific structure (such as research directors, fellows, participation of women in the projects) and the knowledge construction processes, a reflection is put forward about the possible consequences of scientific research on people's daily life and the limits in the use of knowledge and the products of science by scientists and other social actors. In this way, a renewed analysis of the scientific activity is offered by the cinematographic narrative, which opens new possibilities for thought and teaching science.

Keywords: Cinema; Nature of science; Didactics of science; Teacher training; *Copenhagen*.

I. INTRODUCCIÓN

A. Las cuestiones científicas desde la narrativa cinematográfica

A partir de los estudios sobre didáctica de las ciencias, hoy sabemos de la enorme importancia que tiene el conocimiento histórico sobre la génesis y naturaleza de los inventos y los modelos científicos de la humanidad. Tal conocimiento de las condiciones de producción de una idea ayuda a su comprensión y, a

la inversa, dejarlas fuera del estudio del conocimiento científico puede influir negativamente en la percepción que tienen los estudiantes acerca de esta construcción (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Osborne y Wittrock, 1983; Yager y Penick, 1983; Gil, 1983; Driver, 1985; Solbes y Vilches, 1989; Solbes y Traver, 1996).

Así, la enseñanza de las ciencias no debería limitarse a trabajar contenidos puntuales de la física, la química o las ciencias biológicas, sino que también debería incluir cuestiones ligadas a la naturaleza y evolución del conocimiento desde una perspectiva histórica (Solbes y Traver, 1996, 2001). Esto implica que la comprensión de los fenómenos estudiados se realice con una mirada más amplia, que articule el contexto de descubrimiento (Reichenbach, 1938) y las condiciones de producción de ese conocimiento científico, en línea con lo que se conoce como Naturaleza de la Ciencia (NdC o NC y, en inglés, NOS). La NdC se refiere a desarrollar una cierta comprensión de las características de la ciencia, sus métodos y sus complejas interacciones con la sociedad (Hodson, 1992). En este sentido, Solbes y Torres (2014, 2015) proponen analizar las cuestiones científicas y los conflictos de los científicos en sus producciones en relación con sus implicaciones sociales, denominándolas cuestiones sociocientíficas (CSC). En esta misma línea Vieira y Nascimento (2007), Jiménez–Aleixandre (2010), Solbes y Vilches (1989, 2004), Solbes y Traver (1996, 2001), Ruiz y Solbes (2013), y Lorenzo y Farré (2016) destacan la necesidad de introducir discusiones en la didáctica de las ciencias puntualizando como eje principal la articulación entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS).

Por otra parte, la enseñanza de las ciencias conlleva la transmisión y el replanteo de los valores y de las *finalidades* del conocimiento científico (Solbes, 1999). Esto significa que no solo se tiene en cuenta al conocimiento, sino también a su utilidad, y que en el análisis de las cuestiones éticas implicadas en cada producción de conocimiento deben tenerse en cuenta los valores que la sustentan, la utilidad que le será conferida y la coherencia entre un aspecto y otro.

Desde la didáctica de la física, al incluir intrínsecamente implicaciones sociales y ambientales, se intenta favorecer la toma de conciencia sobre la responsabilidad social y la toma de decisiones del ámbito científico; es decir, hacer una “física para la ciudadanía” (Solbes, 2013).

Estos modos de concebir la física ofrecen un campo fértil de indagación que puede ser abordado desde diversos dominios de conocimiento. Por ejemplo, el caso particular de la física cuántica nos ofrece una imagen sobre el desarrollo de la ciencia, ligada a su propio nacimiento como disciplina moderna, en la búsqueda de problemas que la física clásica no podía resolver (Sinarcas y Solbes, 2013). El análisis del interjuego entre nuevas hipótesis, para nuevos problemas, y postulaciones para dar cuenta de aquello que se produce como conocimiento, amplía el campo de la didáctica de las ciencias, y nos permite focalizar en la interrelación entre los científicos, la ciencia y la responsabilidad (Petit y Solbes, 2012).

Ahora bien ¿cómo podría este análisis, proveniente a la didáctica de las ciencias, transferirse a las prácticas educativas? Es en este punto donde el cine se constituye en una herramienta privilegiada para trabajar estas interrelaciones con el fin de despertar la curiosidad y el interés por la ciencia (Palacios, 2007; Petit y Solbes, 2012). Las películas ofrecen oportunidades para que los estudiantes revisen sus imágenes sobre la ciencia y las personas que hacen ciencia, a la vez que facilitan la reflexión y el debate sobre ellas (Petit, 2015; Petit y Solbes, 2012, 2015, 2016).

La gran disponibilidad de dispositivos tecnológicos con los que contamos hoy en día permite introducir en el aula actividades que hasta no hace tanto requerían un gran despliegue para disponer de los equipos necesarios (televisor, reproductor de video) y hasta autorizaciones para que los alumnos se trasladen de un salón a otro. En estos tiempos, no solo podemos compartir una película con nuestros estudiantes, sino que también podemos editarla y trabajar con algunos fragmentos que resulten de especial interés para nuestra clase. En muchos de los casos, son los propios alumnos quienes, utilizando su computadora o *smartphone*, tienen acceso a un sinnúmero de películas, series, imágenes y una gran variedad de información que nos proponen y nos desafían a revisar la inclusión de estos recursos en el aula (Cabero, 2001). En definitiva, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) no sólo han transformado nuestra vida cotidiana, sino que también han modificado las actividades de enseñanza y de aprendizaje. En la actualidad, las TIC se constituyen como herramientas habituales en los espacios educativos, cuya integración es siempre compleja y ha sido estudiada desde ópticas muy variadas, tal como señala Area (2005), evaluando su grado de presencia en el sistema escolar, analizando los efectos de las TIC en el rendimiento escolar, desarrollando las perspectivas de los usuarios de las TIC, tanto docentes como estudiantes, y analizando las prácticas de enseñanza que involucran las TIC en el espacio áulico, entre otras.

Distintas investigaciones destacan el carácter motivador del cine y las series, como otras tecnologías de video, y las facilidades que ofrecen como herramientas de enseñanza, no sólo por su llegada a un gran número de personas, sino también por la posibilidad de exposición de los núcleos más interesantes (o controversiales) del conocimiento científico (García Borrás, 2008, 2011; Sierra, 2007; Petit y Solbes 2012, 2015, 2016).

Asimismo, el poder ver a los científicos en escena permite mostrar su lado humano, humanizarlos, es decir, alejarnos de la presentación de las grandes figuras o los genios infalibles (López Piñero y Navarro, 1995) y de las películas de terror protagonizadas por “científicos locos” que han contribuido a la consolidación de una determinada representación social del científico (Pujalte, Adúriz-Bravo y Porro, 2015a, 2015b).

Por otra parte, el cine ha servido como objeto de análisis para múltiples cuestiones del ámbito educativo, como el rol de la mujer en a partir de los estudios de género (por ejemplo, a través de filmes tales como *La sonrisa de Mona Lisa*, 2003), estrategias para la formación docente (con películas clásicas como *La sociedad de los poetas muertos*, 1989; *La lengua de las mariposas*, 1999; *Música del corazón*, 1999; *Los chicos del coro*, 2004), o las recientes series *Rita* (2012) y *Merlí* (2015).

Otro aspecto que el cine aporta a la enseñanza es la cuestión del diálogo y la conversación con otros como mecanismo iterativo que subyace a la construcción de conocimiento en la educación y en la investigación. De esta manera, puede desnaturalizarse la idea de la construcción del conocimiento científico como una actividad solitaria, propia de “genios” o “mentes brillantes”, haciendo foco en la necesidad del intercambio con otros. En línea con lo que señala Otero (2004), el diálogo con otros hace a la propia condición humana y es condición de posibilidad para la construcción del conocimiento científico. En efecto, Otero retoma la frase de Maturana: *mientras la corporeidad humana es la del homo sapiens sapiens, la forma de vida humana es vivir en conversaciones* (Maturana, 1995, p.50), y señala que el *hacer* humano se realiza en dichas conversaciones, imágenes y palabras compartidas. El lenguaje es un componente activo en el trabajo científico que actúa en dos sentidos: según Lemke (1997), hablar sobre ciencia significa *hacer ciencia a través del lenguaje*. Y, por otra parte, se conoce la importancia de las conversaciones y discusiones entre científicos respecto de sus diseños experimentales, sobre la interpretación de las pruebas y la validez de las conclusiones obtenidas (Latour y Woolgar, 1995). El hecho de trabajar sobre los diálogos de los personajes científicos nos permite tener en cuenta las emociones, sentimientos y razonamientos que atraviesan la construcción del conocimiento científico (Otero, 2006). Este puntapié sobre la subjetividad nos permite reconocer las implicaciones personales en el proceso de creación del conocimiento y, a su vez, engarzar tales implicaciones en condiciones sociohistóricas.

En particular, en relación con la didáctica de la física, el uso del cine ha sido estudiado previamente por Cavelos (1998, 1999), Kakalios (2005), Amengual (2005), Palacios (2007), Petit y Solbes (2012, 2014, 2016) y Shitu y Benvenuto (2012), entre otros. En estas investigaciones se hace énfasis en el cine en dos aspectos principales: el primero, en su función de divulgación de los principios de la física, donde encontramos las imágenes en movimiento, sonido, climas emocionales, tomas y montaje de los filmes, que crean una atmósfera de atención que puede ser aprovechada como una oportunidad de aprendizaje (aspectos destacados por Shitu y Benvenuto (2012)). Y, en segundo término, en los elementos propios de las ciencias que permiten su discusión una vez expuestos en una narrativa, ofreciendo la posibilidad de delimitar conceptos tales como gravedad, luz y sonido; y analizar la imagen sobre la ciencia, los científicos y el futuro de la ciencia (Petit y Solbes, 2015, 2016).

A diferencia de los modelos que hacen énfasis en aspectos generales de la ciencia, y de las personas que se dedican a la ciencia, a la manera de una representación social, nos interesa abordar aquí una construcción ligada a la *singularidad en situación* que emerge a través del cine (Michel Fariña, 2014, 2015). Esto implica hacer énfasis en los aspectos singulares del caso, en las reacciones emocionales de los personajes, y en los aspectos que distinguen a la historia propuesta para poder construir a partir de allí una lectura sobre los personajes científicos. Esta lectura, necesariamente, conectará no sólo elementos de la NdC y las CSC, sino que también incluirá el aporte de la psicología para el abordaje de la subjetividad y la didáctica de las ciencias.

B. Nuestra propuesta: un análisis sobre la actividad científica desde la integración de la didáctica de las ciencias y la psicología

Este trabajo se enmarca en un campo nuevo, poco explorado hasta el momento, que se ubica en la intersección de campos de conocimiento: la didáctica de las ciencias y la psicología. De este modo, se intenta construir una mirada multidimensional producto de la combinación de estrategias propias de la didáctica de las ciencias, la bioética y la narrativa cinematográfica, con los aportes de la psicología, desde una perspectiva psicoanalítica. Esta integración teórica que nos convoca nos permite ofrecer un análisis renovado de la actividad científica que abre nuevas posibilidades para el pensamiento y la enseñanza de las ciencias a través del cine.

Para avanzar en este nuevo enfoque, se toma como punto de partida el film *Copenhague*, que ha sido analizado, discutido y debatido por numerosos autores y desde diferentes perspectivas (Rose, 1998; Paz, 2002; Cornwell, 2005; Laca Arocena, 2014), de manera de poner a prueba la potencialidad de los nuevos aportes. Así, dirigimos nuestra atención a aquellos aspectos que creemos resultan de gran potencial para

la enseñanza, los cuales, aunque inicialmente podrían pensarse limitados al campo de la física, resultarán de interés para la enseñanza de la química, la biología y otras asignaturas del área, dada su fuerte vinculación con aspectos de la naturaleza de la ciencia.

Aunque no presenta los atractivos visuales de los filmes repletos de efectos especiales, el contenido del film *Copenhagen*, aquello sobre lo que los personajes hablan y la forma en que lo hacen, constituyen un aporte singular a la enseñanza de las ciencias. De hecho, ha servido como recurso en instancias de capacitación docente en nuestro país, para reflexionar sobre diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia, vinculados a la epistemología y a la historia de la ciencia, poniendo en cuestión las características personales de los científicos, cuestiones de género, o la impronta de las instituciones sobre el propio trabajo científico.

Lejos de agotar el tema, la problemática de los usos que la sociedad, a través de sus diferentes estamentos (políticos, económicos, militares), realiza de los conocimientos producidos en los laboratorios científicos se agudiza con el paso de los años, a la vez que crece una mayor intervención social sobre ello. Hoy la sociedad cuestiona y critica muchos de los métodos o aplicaciones propias de la ciencia; existe una mayor preocupación por el cuidado del ambiente, por la salud de las personas, por la protección de los animales y por los recursos no renovables. Este trabajo aporta precisamente a estos debates, ofreciendo alternativas fundamentadas para revisar hechos históricos a través de la ficción cinematográfica, para analizar creencias y opiniones ampliando la mirada gracias a los aportes de la psicología.

No está demás aclarar que toda obra cinematográfica es una ficción que intenta contar una historia. Sin embargo, esta situación artificial, subjetiva y novelada aporta un marco de interés para discutir temas de ciencia y, a lo que apunta este trabajo, miradas sobre la ciencia. Desde este planteo se podría intentar responder hasta qué punto la ciencia se diferencia de las situaciones artificiales y subjetivas que expone el cine. En esta línea, también podría cuestionarse si es posible enseñar ciencias mirando una película de cine o si ver una película contribuye en algo al aprendizaje de los estudiantes.

En este sentido, el propósito de este artículo, antes que dar respuestas, es plantear una serie de preguntas inquisitivas, provocadoras y movilizadoras, de forma semejante a una lluvia de ideas (*brainstorming*) que contribuya a exponer y hacer explícitas algunas ideas clave para comprender la naturaleza de la ciencia y los modos de hacer de la ciencia.

Inicialmente, se presenta un análisis general del film para luego detenernos en algunas de sus escenas que se consideran especialmente relevantes a la hora de pensar en estrategias para la enseñanza de las ciencias, desde un modelo de *unidad didáctica en cascada* dirigida inicialmente a la capacitación y actualización de los profesores, para promover su transferencia y aplicación posterior al aula (Lorenzo y Farré, 2016).

C. *Copenhagen*: la película

Originalmente, la obra aparece como una pieza teatral en 1998, escrita por Michael Frayn. Luego de haber ganado el prestigioso Premio Tony a mejor obra dramática, en el año 2000, fue llevada al cine producida por la BBC, adaptada y dirigida por Howard Davies, con las actuaciones de Daniel Craig, Stephen Rea, y Francesca Anni¹.

La película recupera algunos hechos y personajes históricos en una hipotética reunión entre los físicos Niels Bohr y Werner Heisenberg después de sus respectivas muertes, en el mismo escenario en que tuvo lugar un famoso encuentro entre ellos en 1941, de cuyo contenido poco y nada se sabe hasta hoy. Por eso, en la película *Copenhagen* se fantasea con lo que pudo haber pasado en aquella reunión real a comienzos de la Segunda Guerra Mundial y con la posible continuación de aquella recordada y secreta conversación.

Para comprender el hilo argumental de la película y sus posibles implicancias para la enseñanza de las ciencias, repasaremos brevemente quiénes fueron los protagonistas de esta historia y la relación que hubo entre ellos, atendiendo a como aparecen retratados en el film.

Niels Bohr (1885–1962) es presentado como un brillante científico, judío y danés, que investiga en el área de la física cuántica. Sabemos que se destaca en él una fascinación por encontrar las soluciones a las fórmulas de fisión, combinada con la idea de extender los conocimientos de la ciencia al conjunto de toda la población, y que en 1911 comienza trabajando bajo la dirección académica de Ernest Rutherford, en Manchester, para luego especializarse en mecánica cuántica. En 1913 da a conocer su famoso modelo atómico y posteriormente en 1922 es galardonado con el Premio Nobel de Física por sus estudios en el campo de la mecánica cuántica.

El alemán Werner Heisenberg (1901–1976) realiza estudios de matemáticas y luego se desempeña como becario y discípulo de Bohr en la Universidad de Copenhague. Se lo reconoce por ser el creador de

¹En Argentina, la obra teatral fue representada en el Teatro General San Martín de la Ciudad de Buenos Aires durante las temporadas 2002 a 2005, bajo la dirección de Carlos Gandolfo y con las actuaciones de Juan Carlos Gené, Alberto Segado y Alicia Berdaxagar.

la mecánica cuántica matricial en los que se combinaban sus conocimientos de matemáticas con los de física. En 1927 postula el *Principio de Incertidumbre* que establece que es imposible medir simultáneamente de forma precisa la posición y el momento lineal de una partícula. Recibe el Premio Nobel de Física en 1932. En 1941 ocupa el cargo de director del Instituto Kaiser Wilhelm de Física, que en 1946 pasa a llamarse Instituto Max Planck de Física.

La Segunda Guerra Mundial deja a ambos científicos en bandos opuestos: mientras Heisenberg colabora con la Alemania nazi, conduciendo su programa nuclear, Bohr permanece un tiempo en Copenhague antes migrar a los Estados Unidos, con la ayuda secreta de Heisenberg, donde se une finalmente a los aliados y al equipo de científicos de Los Álamos en el Proyecto Manhattan. En 1941, Heisenberg viaja a Copenhague para reunirse con Bohr y su esposa Margrethe, quienes aún residían en la capital danesa. Lo ocurrido en aquella reunión –y que significa el distanciamiento irreparable entre ambos científicos– fue luego objeto de múltiples especulaciones.

Una de las hipótesis es que Heisenberg podría haber ido en búsqueda de información sobre el programa atómico de los aliados, con la secreta intención de retrasar o impedir la construcción de la bomba; o, por el contrario, para revelar que tal proyecto no existía del lado nazi. El pasado de ambos como maestro y discípulo y el futuro oscuro que se ciñe sobre su historia –con la guerra desarrollándose en un lugar no muy lejano– nos permite entender que las implicaciones sobre ese célebre encuentro van mucho más allá de su relación personal.

Como es sabido, en 1945, después de la rendición de Alemania, un avión de las fuerzas armadas estadounidenses arrojó la primera bomba atómica sobre la ciudad japonesa de Hiroshima. Tres días después, la operación se repitió en Nagasaki. Ambas ciudades fueron devastadas: el saldo inmediato del ataque nuclear fue de más de cien mil muertos en cada una de ellas, y cerca de doscientos mil heridos –sin contar con las consecuencias posteriores de la radiación sobre la población. Esto condujo a la rendición de Japón y a la finalización de la Segunda Guerra Mundial.

La película, como la obra teatral, relata un encuentro ficcional entre los tres o, tal vez, intenta revivir aquella reunión verdadera, imaginándola como una repetición o como una nueva oportunidad en la que revisar y reconstruir aquellos diálogos, con la serenidad que ofrece la muerte, y sabiendo del desenlace que tuvo la construcción de la bomba atómica. De este modo, a través de los diálogos entre los personajes el film plantea y cuestiona la responsabilidad de cada uno de ellos, como científicos a un lado y a otro de la guerra, y de los científicos en general, sobre la construcción del artefacto de la bomba atómica que causó más de cien mil muertos y aún más heridos, en un sitio como Japón, alejado de Alemania y de Estados Unidos. En la figura 1 se mencionan algunos detalles sobre el film.

<p>Título: Copenhagen (Basado en la obra teatral <i>Copenhagen</i>, Michael Fray, 1998)</p> <p>Fecha: 2002</p> <p>Director: Howard Davies Producido por la BBC</p> <p>Actores: Daniel Craig, Stephen Rea, y Francesca Annis</p> <p>Sinopsis: En un espacio atemporal se propone un encuentro hipotético entre el físico danés, Neils Bohr y su esposa Margharthe, con su antiguo discípulo y actual científico de la Alemania nazi, Werner Heisenberg, después de muertos. La película plantea y revisa de manera recurrente la relación entre los personajes y muestra los diferentes puntos de vista de cada uno de ellos sobre distintos aspectos de la física, la ciencia, la responsabilidad en la construcción de la bomba atómica y otros aspectos que hacen a su condición humana.</p>	
---	--

FIGURA 1. Ficha técnica de la película.

II. METODOLOGÍA

¿Cómo abordar esta ficción para extraer de ella un nuevo conocimiento? Las bases metodológicas de este trabajo se enmarcan en el paradigma cualitativo, que incluye en su comprensión epistemológica una perspectiva más extensiva, centrada en el sentido, en la comprensión y en el significado (Taylor y Bogdan, 1992); y, en palabras de Mason (1996), está sostenida por métodos de análisis y explicación que abarcan la comprensión de la complejidad, el detalle, el contexto, y que incluyen lo singular.

Para el abordaje de este film seguimos el método clínico-analítico de lectura de filmes (Michel Fariña, 2014), considerando que el análisis debe estar circunscrito a los personajes del film, entendiendo a la ficción como una versión de la verdad. ¿Qué quiere decir esto? A los fines de este estudio, significa que nos abocaremos a la obra de arte, tomando como corpus de análisis la verdad ficcional recortada por el film sin atender al grado de adecuación con los hechos históricos.

Por otra parte, el método clínico-analítico de lectura de filmes es un modo de abordaje de las singularidades situacionales que es, a su vez, un sistema epistemológico que encuentra a las analogías cinematográficas en el centro de la escena. Estas analogías pueden pensarse, cada una de ellas, a la manera de un paradigma. Tal como señala Giorgio Agamben (2010, p. 10), cuando se configura un paradigma, esto

...implica el abandono sin reservas del particular-general como modelo de la inferencia lógica. La regla (si aún puede hablarse aquí de regla) no es una generalidad que preexiste a los casos singulares y se aplica a ellos, ni algo que resulta de la enumeración exhaustiva de los casos particulares. Más bien es la mera exhibición del caso paradigmático la que constituye una regla, que, como tal, no puede ser ni aplicada ni enunciada.

Esta definición toma distancia de los modelos deductivos e inductivos, y a la vez también del clásico recorte kuhniano de las “revoluciones” científicas. Se nutre de perspectivas, como la del psicoanálisis, la hermenéutica o los modelos analógicos, que para la mayoría de los tratadistas no reúnen condiciones científicas, y las jerarquiza de una manera diferente.

Entendemos a la analogía en el sentido de Juan Samaja:

Aquella inferencia lógica que va de un Caso conocido al caso desconocido, por medio de su semejanza formal, y de allí deriva que la Regla del caso conocido también debe ser semejante a la regla del caso desconocido: la Regla desconocida debe tener la misma forma que la regla análoga. (Samaja, s/f, citado por Azaretto y Ros, 2014, p. 78).

La rigurosidad del paradigma permite a Agamben otorgarles un nuevo estatuto metodológico a las singularidades en situación:

Más parecido a la alegoría que a la metáfora, el paradigma es un caso singular que se aísla del contexto del que forma parte sólo en la medida en que, exhibiendo su propia singularidad, vuelve inteligible un nuevo conjunto, cuya homogeneidad él mismo debe constituir. (Agamben, 2010, p. 9)

Se indaga, entonces, la obra *Copenhagen* pensándola en su singularidad situacional, esto quiere decir, analizando su contenido en función de distintos ejes teóricos, y considerándola como un ejemplo paradigmático para indagar acerca de diversas cuestiones vinculadas a los hechos científicos, sus resultados y sus implicaciones en relación con la naturaleza de la ciencia que subyace en el film.

¿Por qué considerar a *Copenhagen* como un ejemplo paradigmático? Por un lado, la recreación ficcional del encuentro permite a estudiantes y docentes identificarse con los personajes y con las argumentaciones que van teniendo lugar, en el lapso de la duración del film. Este acercamiento a través de la imagen y de la narración provee un escenario de gran utilidad para la enseñanza de las ciencias y, en este caso en particular, de la física.

Por otra parte, la obra permite acercarnos a diversas paradojas que hacen interesante la exploración de la complejidad: esta conversación entre los dos físicos retoma desde un “después de la muerte” el hecho de la fabricación y la detonación de la bomba atómica, donde ambos aparecen enfrentados (Paz, 2002). Mientras Bohr, quien no pertenecía a la Alemania nazi, colaboró con los aliados en la fabricación de la bomba atómica, su figura parece inspirar respeto aun cuando por su accionar se produjeron las masacres de Hiroshima y Nagasaki. Heisenberg, por su lado, aunque fracasó en su proyecto nuclear, ha sido mirado con desconfianza y desprecio por el resto de la comunidad científica debido a su participación en el programa nazi.

III. DESARROLLO

El compartir una película en el aula, con un objetivo educativo, genera un clima particular entre los estudiantes. En palabras de Shitu y Benvenuto:

Algunas de las peculiaridades del cine (las imágenes en movimiento, el sonido que las acompaña, los climas emocionales que suelen generar las películas, la espectacularidad de las tomas) crean naturalmente una atmósfera de atención que, bien aprovechada bajo la guía de docentes creativos, puede transformarse en formidables oportunidades de aprendizaje. (Shitu y Benvenuto, 2012, p. 92)

En esta línea, proponemos el trabajo con la película *Copenhague* para trabajar diferentes cuestiones.

– El primero, y más obvio, de los usos, sería su utilización como disparador, como una actividad para generar empatía con los protagonistas de la historia y, a partir de allí, plantear actividades de indagación sobre sus biografías y sobre los distintos desarrollos teóricos que produjeron ambos científicos.

– De manera complementaria a la anterior, el film podría incorporarse como cierre de una unidad didáctica, luego de haber desarrollado los tópicos de física o química correspondientes, por ejemplo, a estructura atómica, elementos de la tabla periódica, radiactividad.

En este punto, le proponemos al lector que vea la película y luego recupere algunos términos propios del lenguaje científico como los que enunciamos anteriormente. ¿Podría resultar interesante implementar esa actividad con los estudiantes? ¿Podrían, por ejemplo, emplearse esos conceptos que aparecen en el film para confeccionar un texto sobre el tema, o un mapa conceptual que permita relacionar las distintas ideas entre sí? ¿Cuáles son los científicos que aparecen mencionados en el film? ¿Cuáles fueron sus aportes al campo de las ciencias exactas y naturales? ¿Qué otros contenidos podrían trabajarse a partir de lo que aparece en la película?

– Asimismo, podría utilizarse para el debate y juego de roles para dirimir cuestiones sociocientíficas. ¿Cuáles son los temas que está bien que se investiguen y cuáles no? ¿Es correcto el planteo de la pregunta anterior? El debate, el juego de roles y la teatralización permiten poner en evidencia las ideas con que los alumnos llegan a clase y permite explicitar sus conocimientos previos. De este modo, se pueden trabajar cuestiones que hacen al trabajo científico considerando a la ciencia como una actividad cultural y humana. Se pueden discutir los diferentes modos en que se produce conocimiento, la importancia de trabajar en forma colaborativa con otros y los riesgos que esta práctica también implica. Además, la técnica del debate requiere de una sólida argumentación para defender cierto punto de vista (con el que se puede o no estar de acuerdo y en eso radica el desafío y lo potente de la actividad) y, para ello, nada mejor que una buena búsqueda y revisión de la bibliografía que permita reflexionar sobre los tópicos a debatir.

En los siguientes apartados, desarrollaremos algunos de estos tópicos que pueden utilizarse en las actividades en el aula.

A. Sobre los procesos de construcción del conocimiento científico

Toda la película recuerda al proceso de producción científica, con una estructura recursiva, que va y vuelve una y otra vez sobre el mismo tema incorporando nuevos ángulos o puntos de vista, y nuevas variables.

Bohr mismo va diciendo en diversos pasajes del film: “escribamos un nuevo borrador”, “esta será la versión final del borrador”, emulando al trabajo de escritura y publicación de un paper, para volver a iniciar un nuevo diálogo con su colaborador, Heisenberg.

Al igual que en una investigación científica, aparecen y se citan numerosos científicos de la época (Fermi, Shroedinger, Pauli, Otto Hans...) a modo de referencia bibliográfica a partir de los cuales pueden apoyarse o diferenciarse.

Asimismo, en las discusiones aparecen recursos habituales del trabajo científico, como el uso de analogías (Ciapuscio, 2011, Oliva, 2008), refiriéndose al tamaño relativo de un átomo (comparado con la ciudad de Copenhague) y su núcleo (Margarethe, en la comparación propuesta por Heisenberg), y los planteos decisionales sobre el uso de diferentes metodologías entre la teoría ondulatoria y los cálculos de Shroedinger y las matrices de Heisenberg.

B. Sobre el vocabulario científico y los conceptos de la ciencia

Uno de los aspectos a los que hace mención el film es la dificultad del lenguaje científico de reconocida relevancia en el aprendizaje de las ciencias (Lemke, 2002).

En varios pasajes de los diálogos entre Bohr y Heisenberg, se recuerdan e instan mutuamente a hablar en “lenguaje plano”, para no dejar por fuera del diálogo a Margarethe, quien representa a la “gente

común”, la sociedad que los observa. El conocimiento científico, las dudas y los cuestionamientos de Bohr y de Heisenberg, deben ser compartidos de forma tal que puedan ser comprendidos por Margarethe —y, también, podríamos decir, por los espectadores—.

Otro punto que merece destacarse es la creencia de Bohr respecto de la “mecánica clásica” como algo incluido en el “lenguaje plano” y, en consecuencia, fácilmente comprensible por todos —mucho más que la física cuántica, en su propia comparación—. Esta cuestión puede resultar útil para indagar acerca de las diversas concepciones sobre lo “fácil” y lo “difícil”, para mostrar como la convicción sobre lo fácil y lo difícil se vincula con los propios conocimientos, con el grado de familiaridad que podamos lograr con ciertos conceptos, algo que es bastante frecuente a lo largo de un proceso de aprendizaje.

Por otro lado, la película presenta diversos juegos de palabras entre términos del vocabulario técnico y otras posibles acepciones, poniendo en evidencia la polisemia del lenguaje científico y el uso que suele hacerse de las analogías y metáforas en la ciencia (Ciapuscio, 2011; Oliva, 2008). Entre otras palabras se distinguen: incertidumbre, complementariedad, fotones, cuantos de luz, núcleo, matrices. Los procesos subjetivos se enlazan entonces con los conceptos científicos, proponiendo una lectura sobre lo que acontece en los personajes desde las teorías científicas de Bohr y de Heisenberg.

Ello no excluye, por cierto, formas metafóricas, que permiten acercar paradigmas de las ciencias exactas al lenguaje poético. Tal como señala el pasaje de la obra («Texto completo de Copenhague, obra de teatro en dos actos, por Michael Frayn | Temakel», 2010):

Margarethe.—Y cuando todos nuestros ojos se hayan cerrado, cuando hasta los fantasmas se hayan ido... ¿qué quedará de nuestro adorado mundo? ¿De nuestro arruinado, deshonorado y adorado mundo?
Heisenberg.—Pero mientras tanto, en éste muypreciado mientras tanto ahí está. Los árboles del parque. Los lugares amados. Nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos. Preservados, posiblemente, por aquel momento tan breve en Copenhagen. Por algún acontecimiento que nunca va a ser localizado o definido del todo. Por ese último núcleo de incertidumbre que subyace en el corazón de todo lo que existe.

En este punto, puede resultar interesante trabajar con los estudiantes de física respecto de las analogías y metáforas difundidas en las representaciones sociales de los conceptos científicos y su adecuación, o inadecuación, respecto del mundo sensible sobre el que ensayan intervenir.

C. Sobre los personajes de la ciencia: de genios y de musas

El film *Copenhagen* nos permite cuestionar el imaginario social, en el cual persisten las ideas sobre la especial naturaleza de los hombres de ciencia, dejando a la mujer el rol de compañera o musa inspiradora detrás del hombre y excluyéndola de los espacios legítimos de la producción y de difusión científica (Faulkner y Kerr, 1997; Urteaga, 2010).

Además de los protagonistas de la historia, se mencionan, como ya se dijo, a otros científicos de la época (entre ellos Fermi, Shroedingoer, Pauli, Otto Hans), quienes tienen diferentes relaciones con los personajes de Bohr y Heisenberg y contribuyeron de una manera u otra con sus investigaciones en el campo de la física, mostrando así el carácter necesariamente colaborativo de la actividad científica.

Asimismo, la película *Copenhagen* también permite apreciar una imagen “humanizada” de los científicos. A Bohr y a Heisenberg se los muestra como dos hombres “de familia”, casados y con hijos, amantes de los deportes (como realizar esquí o navegar) y de la cultura (Heisenberg toca el piano). Su imagen corporal tampoco corresponde al estereotipo clásico del científico: se presentan vestidos elegantemente, con aspecto sobrio, sin batas ni gafas ni ese aspecto descuidado que suele adjudicarse a aquellos quienes se encuentran ensimismados en sus propios pensamientos. Es que, de hecho, queda claro que sus pensamientos no están sesgados por las lentes de la mecánica cuántica, sino abiertos a infinitud de otras cuestiones...

Sin embargo, trascendiendo ese perfil humano, a ambos científicos se los presenta como mentes brillantes ¿Qué significado puede darse al adjetivo “brillante”? ¿Se considera que tanto Bohr como Heisenberg eran más inteligentes que el resto de las personas? ¿Hasta incluso más que sus compañeros o maestros? ¿Es por eso que merecen ser los protagonistas de la historia que se cuenta en el film? ¿Acaso la ciencia solo es posible para grandes hombres de la talla de Bohr o Heisenberg? ¿Cuál es la concepción de ciencia que subyace en el film? ¿Habría alguien más trabajando en los laboratorios de estos afamados físicos? ¿Por qué no se los menciona? ¿Sólo los éxitos contribuyen a la construcción del conocimiento científico?

Por otra parte, podría elevarse el nivel de reflexión con preguntas aún más audaces ¿de qué depende que se reconozca el trabajo de un científico y no de otro? ¿Cómo hace un científico para dar a conocer los resultados de sus investigaciones? ¿Cómo consigue el dinero para poder financiar sus experimentos? ¿Cuáles son los roles que desempeñan la sociedad, el Estado, la política, en la producción y uso del conocimiento científico?

D. Sobre las relaciones interpersonales y sociales del trabajo científico

Dice Bohr que él fue creado como “*la mitad de un todo*”. Por la forma en que se desarrolla la escena podría parecer que se refiere a la “complementariedad” (parte de su teoría) con su esposa. Pero, con el correr del film, pareciera más bien, que se refería al todo que conformaban, como equipo de trabajo, con Heisenberg.

A lo largo de las reiteradas visiones de lo ocurrido en aquella reunión, además de evidenciarse los sentimientos humanos entre ambos personajes (explicitados en muchas ocasiones por Margharethe) como admiración, celos, frustración, pasión, etc., Bohr y Heisenberg describen los logros que han hecho juntos y es Margharethe quien les indica que lo hicieron mientras estaban separados.

Pero esa complementariedad que señala Bohr, eso de ser “*la mitad de un todo*”, ¿deja de serlo por la ubicación espacial? Una y otra vez se reitera en el film que Heisenberg necesitaba a Bohr para guiarlo, ponerle sus límites, mostrarle otros puntos de vista. Eran un equipo, cada cual jugaba su rol en ello y de allí surgían sus ideas, combinando la cautela de Bohr con la osadía de Heisenberg.

¿Puede considerarse que Bohr y Heisenberg tuvieran una relación de amistad? Tal vez, aquello que los unía era su pasión por el conocimiento y por el efecto que cada uno producía en el otro. Se amaban y se odiaban, porque cada uno representaba los límites o incapacidades del otro. Heisenberg que, con tan solo veinte años, le cuestiona a Bohr un error en sus cálculos matemáticos; Bohr, el viejo, que sabe cómo hacer un simple cálculo matemático que se le escapa a Heisenberg en sus narices.

E. Sobre los límites en el uso del conocimiento y los productos de la ciencia

Como uno de los puntos cruciales de la película, Heisenberg le pregunta a su maestro Bohr: “*¿Tiene uno como físico moralmente el derecho para trabajar en la explotación práctica de la energía atómica?*”

¿Cómo podemos entender esta pregunta? ¿Podemos preguntarnos por ese “derecho a trabajar” en la explotación práctica de la energía atómica, en términos de la responsabilidad de cada científico? ¿Podemos indagar la cuestión de la responsabilidad de los científicos respecto de los usos potenciales de los productos de la ciencia? ¿Cómo podríamos diferenciar las aplicaciones derivadas del conocimiento de la energía nuclear tales como la producción de la electricidad, los avances en biomedicina, los viajes espaciales, entre otras cuestiones, de la explotación de la bomba atómica que fue arrojada sobre un blanco humano, tal como señala Bohr en el film?

A partir del posicionamiento de cada uno de los personajes podemos debatir sobre este punto desde diferentes perspectivas.

Nos enfocaremos primero en el personaje de Niels Bohr. Notamos que el maestro es interpelado por la situación y por la pregunta de Heisenberg. Reacciona con culpa por la muerte de las personas afectadas por la bomba atómica. Cabría preguntarse, además, si ese sentimiento de culpa no responde también a su responsabilidad como maestro por las acciones de su discípulo Heisenberg en sus intentos (aunque fallidos) de construir la bomba atómica.

Heisenberg y Margharethe, en dos movimientos aparentemente opuestos (él indagando, inquiriendo, y ella negando), permiten que Bohr se cuestione acerca de su colaboración “*en la muerte de cien mil personas*”, según sus palabras.

¿Los programas científicos superan a sus creadores? ¿Las personas “son utilizadas” para los proyectos? ¿Es posible negarse a colaborar en programas de esta magnitud, o bien ocurre lo que propone Heisenberg: “*todo lo que podemos hacer es actuar y luego mirar atrás y ver qué pasó*”?

Es Heisenberg quien interpela a su maestro en un momento de la obra: “*No tenían la menor idea de qué es lo que pasa cuando se tira una bomba sobre una ciudad. Ni siquiera una bomba convencional. Ninguno de ustedes lo había padecido. Ni uno solo*” («Texto completo de Copenhague, obra de teatro en dos actos, por Michael Frayn | Temakel», 2010). Las palabras de Heisenberg operan como una interpelación hacia Bohr y permiten que surja la pregunta por no haber tomado la decisión de negarse a colaborar en la fabricación de la bomba atómica. Bohr no (re)niega sus conocimientos científicos a la hora de embarcarse en la “*carrera por la bomba*”, y es en el ‘después de la muerte’ de *Copenhague* cuando aparecen el cuestionamiento y la culpa.

A medida que se va sucediendo el diálogo, Bohr empieza a preguntarse por su participación en la fabricación de la bomba, mientras Margharethe, su esposa, lo absuelve. Ella aparece en medio del diálogo de los dos científicos a través de la *dis-culpa*. Libra “de culpa y cargo” a su marido. Pero es justamente esta *disculpa* la que nos pone sobre aviso de una *condena*: no se puede absolver sin acusación previa.

No resultaría viable la discusión sobre la participación de Niels Bohr en la creación de la bomba atómica considerando a la responsabilidad únicamente en términos jurídicos o legales. Bohr no es quien detona la bomba, pero sí quien participa en su programa científico. En la pregunta sobre la responsabili-

dad jurídica, encontramos motivos que lo *dis-culpan*: investigar la física cuántica no implica necesariamente construir una bomba atómica, pero ¿construir una bomba atómica significa arrojársela sobre un blanco humano?

Heisenberg, por su parte, va enfrentándose con distintos conflictos a lo largo del film: regresar o no a Alemania en agosto de 1939 y colaborar o no con el proyecto nuclear alemán del Führer. El problema radica en la distinción que plantea Laca Arocena, justamente, entre “*los resultados prácticos de las decisiones y (...) la moralidad de las intenciones*” (2014, p. 150), ya que, a pesar de no haber podido diseñar la bomba nuclear mientras estuvo en el proyecto alemán, entre los años 1939 y 1942, es interesante poder hipotetizar sobre las posibles razones por las cuales participó en tal programa y sobre las motivaciones por las cuales falló en el cálculo necesario para la fabricación de la bomba. Rose (1998) hace énfasis en el primer aspecto, situando que la decisión de optar por el bando alemán en la guerra es la base del problema, debido a “la maldad de la Alemania nazi”. Pero es interesante notar que

...suprimiendo los contextos nazi y aliados Heisenberg crea una falsa simetría entre los presupuestos morales de los científicos aliados y alemanes. Es como si los científicos actuaran en un vacío político, más bien que como luchadores por sus causas respectivas.(Rose, 1998, p. 17)

Aprovechando los aportes de la psicología, podemos dar un paso más, indagando sobre la segunda cuestión. Resulta interesante el planteo que Heisenberg mismo hace a su maestro en el seno de la obra: por qué ha errado en el cálculo del uranio para la fabricación de la bomba atómica, él, un brillante físico, ganador del premio Nobel ¿cómo se le pudo escapar semejante detalle?

En el film, este dato surge luego de un nuevo “ensayo” de la pregunta que el discípulo le hace a su maestro, una nueva variación. Heisenberg toca el piano. Luego, maestro y discípulo salen a caminar y se produce, una vez más, el choque entre ambos. Y nosotros, una vez más, nos preguntamos: ¿Por qué Heisenberg equivoca el cálculo, siendo como es, uno de los grandes físicos del siglo XX? ¿Y por qué consulta a su maestro acerca de la mutua participación como físicos teóricos en la aplicación práctica de la energía atómica?

Más allá de que el proyecto de Heisenberg en Alemania no logra la creación y utilización de la bomba atómica, él aún se siente responsable por su participación. A lo largo de la obra, Heisenberg parece empeñado en comprenderse a él mismo a través de Bohr. ¿Por qué aparece esa necesidad de Heisenberg de disculparse frente a Bohr? ¿Se excusa por su colaboración en el proyecto alemán? ¿Intenta separar su participación como científico de los propósitos del régimen nazi? ¿Qué hubiera pasado si el proyecto alemán hubiese conseguido construir la bomba atómica?

F. Sobre la objetividad y la subjetividad, problema y cuestión

Tal como señala Walker(en Cornwell, 2005):

Las preguntas del tipo «¿Qué habría pasado si...? no tienen respuesta definitiva, y tal vez exactamente por esa razón se ha atribuido una importancia extraordinaria y poco verosímil a un símbolo de la mítica bomba atómica alemana: la conversación de Werner Heisenberg con su colega, amigo y mentor, el danés Niels Bohr, en la ocupada ciudad de Copenhague, durante el otoño de 1941.(p. 303)

Tomemos ahora puntualmente la cuestión de la vacilación en los personajes, preguntándose una y otra vez sobre su responsabilidad respecto de la “carrera por la bomba atómica”. Esta cuestión nos permite adentrarnos en la distinción lógica entre *problema* y *cuestión*, tal como aparece enunciada por Jean-Claude Milner (2007):

El problema pide una solución. No se inscribe en el orden de la lengua, sino en el orden de la objetividad (conceptual, material, de gestión, etc.) (...) La cuestión, en cambio, pide una respuesta. No se plantea sino cuando algún ser hablante la plantea también a un ser hablante, que puede ser otro o él mismo. No recibe respuesta sino cuando algún ser hablante la da, a sí mismo o a otro. Estamos en el orden de la lengua. La Esfinge plantea la cuestión y la respuesta es el hombre, vale decir, aquel que habla y hace posible la articulación cuestión/respuesta. Una respuesta siempre puede ser pensada como la reiteración de la cuestión (la Esfinge, otra vez), de modo que nunca puede haber una respuesta suficiente que cierre la cuestión. Cabe sostener entonces que es propio de la cuestión el poder permanecer abierta para siempre, y que es propio de la respuesta el no atender contra esta condición.(pp. 11–12)

Esta distinción resulta especialmente útil para analizar lo sucedido con Heisenberg y, más allá, con la responsabilidad de los científicos. Mientras que el *problema* de la física cuántica pide una solución (calcular el volumen de uranio necesario para la fabricación de la bomba atómica), la discusión se traslada al

terreno de la *cuestión*, es decir, a la pregunta que pide una respuesta: una vez más, “¿tiene uno como físico moralmente el derecho para trabajar en la explotación práctica de la energía atómica?”

Resulta interesante en la propuesta terminológica de Milner la incorporación de la reiteración de una cuestión como respuesta a la primera cuestión, es decir, la imposibilidad de resolver o disolver la cuestión por la misma vía del problema. La pregunta retorna sobre el sujeto, sin resolverse. La responsabilidad por el trabajo teórico cotidiano de los científicos, y la imposibilidad de separar estos avances de las consecuencias prácticas con las que pueden ser utilizados, nos indica que hay un margen de responsabilidad e incertidumbre por el trabajo de cada quien, incluso en un contexto como el del nazismo y la segunda guerra mundial.

En efecto, el uso de la técnica y el conocimiento científico en dicho contexto debe ser analizado especialmente. Esto alcanza no sólo a las disciplinas médicas y biológicas a partir de sus programas de eugenesia, sino también a las ciencias exactas:

Hitler proyectó así la más cruda luz sobre el par problema-solución. Presentándose en cierto modo como el Newton de la política, quiso resolver con nuevos medios un problema tan antiguo como el de las mareas. Del mismo modo en que, para admiración de todos, había resuelto los problemas del desempleo y la inflación. Lo consiguió tomando en serio el desplazamiento producido por la guerra del '14. Todo el mundo coincidía en que una solución definitiva del problema judío debía pasar por las vías de la técnica. Cualquier otra, en particular la de lo lógico-político, sólo podía conducir a soluciones provisionarias. Pues bien: la modernidad de lo moderno en materia de técnica se llama invención. Tras la inminencia de la guerra mundial, la tecnicidad de lo técnico se llama destrucción, y lo destructivo de la destrucción se llama matanza. Si tiene que haber una solución definitiva del problema judío deberá descansar sobre una invención técnica mortal. Esta invención tiene nombre: cámara de gas. En ella se combinan de manera inédita la química industrial, la taylorización y la arquitectura funcional. Al revés de lo que podría pensarse, no les debe nada específico a las técnicas de la guerra; no se emplea ningún arma, ningún gas de combate. Todo está situado en el régimen de la producción. (Milner, 2007, p. 59)

En *Copenhague* el trasfondo es la bomba atómica, que sin duda es un arma de guerra. Pero su rol en la historia, en tanto instrumento de exterminación masiva, opera más bien con valor disuasorio. El poder lo tienen quienes ganan la carrera técnica para obtenerla más que quienes llegan a detonarla, e Hiroshima y Nagasaki son justamente las excepciones ominosas de la regla.

Pero se impone un paso más. Desde la psicología, resulta muy interesante analizar la analogía entre el principio de incertidumbre planteado por Heisenberg y el sujeto de deseo que postula el psicoanálisis, sujeto que no es un mero efecto de determinaciones simbólicas, tal como proponen en diferentes momentos de su vasta obra Foucault, Althusser o Bourdieu. Desde la sociología, se ha planteado en innumerables ocasiones (debido a una larga tradición iniciada por Durkheim) que el sujeto está determinado por lo social, producido por esas determinaciones simbólicas.

Por el contrario, desde el psicoanálisis siempre hay un margen de indagación para la responsabilidad subjetiva de cada quien. El determinismo del inconsciente planteado por Freud no excluye la responsabilidad del sujeto respecto de aquello que está más allá de la conciencia. Esto quiere decir que, a pesar de que los motivos estén ocultos para la conciencia, forman parte de una compleja red relacionada con el inconsciente, y allí radica la tarea del analista: desentrañar esas causas y motivaciones, descifrar enigmas.

Si, como postula el psicoanalista Jacques Lacan (1988), el estatuto del inconsciente es ético, es porque el sujeto cuenta siempre con un margen de elección indeterminado en el centro de una estructura simbólica que lo determina. Este margen de elección produce consecuencias no calculables ya que las elecciones no son azarosas, y allí se encuentra el margen para la responsabilidad, ya que “*de nuestra posición de sujetos somos siempre responsables*” (Lacan, [1966] 2013, p. 837).

Poder situar la posición de un sujeto respecto del deseo no permite calcular o predecir la dirección o el curso de sus actos. Ni siquiera su decisión, vale decir, qué decidirá respecto del deseo que lo habita. Al revés, el curso de sus actos puede volver indeterminable para alguien la posición en la que está realmente situado como sujeto: un bello ideal familiar y altruista pueden ser una posición racionalizada y exculpatoria de la verdadera posición en la que un sujeto se encuentra ubicado.

Lo perturbador de la incertidumbre radica justamente en el margen que queda del lado del sujeto, que intenta explicarse una y otra vez, a la manera de los ensayos acerca de por qué Heisenberg fue a Copenhague, qué fue lo que se dijeron los dos físicos, y por qué su amistad se quebró luego de esa conversación.

IV. CONCLUSIONES

En el modelo físico newtoniano, el universo puede ser todavía pensado reducido a masas y fuerzas, donde las masas se mueven porque son afectadas por fuerzas externas a las mismas. De acuerdo con las Leyes de Newton, si se sabe la posición de una masa y las fuerzas que la afectan en ese instante (intensidad y

dirección) se puede calcular cómo se moverá esa masa, así como también cuáles fuerzas la han afectado para alcanzar su actual posición. El universo sería así una cadena infinita de causas y efectos determinados y determinables. Para la lógica newtoniana no existe el azar: el azar es simplemente el aspecto aparente que presentan ciertos fenómenos al científico, por carecer éste de todos los datos necesarios para predecir el movimiento de una masa. Si arrojamos una moneda al aire, nos parece azaroso de qué lado caerá al piso. Pero esa impresión es sólo subjetiva y una consecuencia de que carecemos de todos los datos exactos de las fuerzas puestas en juego sobre dicha masa en el momento que la arrojamos. Si conociéramos dichos datos, podríamos calcular con exactitud el resultado.

Pero la física cuántica plantea otra cosa. A nivel subatómico los fenómenos de movimiento no se comportan del mismo modo que las monedas o los planetas. Y su planteo abre a la categoría de azar ya no como un mero límite del sujeto cognoscente respecto de los datos de partida, sino como algo intrínseco al fenómeno mismo estudiado. La indeterminación pasa a ser parte de la naturaleza de ciertos fenómenos a nivel subatómico. En 1927 Heisenberg descubre que a nivel de las partículas subatómicas no se puede medir exactamente al mismo tiempo su posición exacta y su velocidad o dirección. Lo cual para la concepción determinista newtoniana resulta un escándalo. A partir de su *Principio de Incertidumbre*, la mayor certeza en la determinación de la posición de una partícula es al precio de no conocer con precisión su movimiento lineal o dirección (su masa y velocidad). Y, al revés, la determinación de la dirección de la partícula vuelve indeterminada su posición. Así, los modelos complejos de la física y los giros actuales del psicoanálisis se encuentran en el punto nodal de la responsabilidad. El visionado y análisis de una obra bella e inquietante como *Copenhague* permite un acercamiento a este paralelo, especialmente trascendental para el desarrollo teórico y formativo de las nuevas generaciones de físicos y de profesores de física.

El encuentro fructífero entre la psicología y la didáctica de las ciencias a partir del análisis de *Copenhague* nos ha permitido reflexionar sobre la utilización del cine como medio de acceso al proceso de creación del conocimiento científico, permitiendo poner en evidencia nuevos emergentes en viejos predicamentos. Así, la apertura a la metáfora de la incertidumbre a partir del recorrido personal –tanto de los físicos retratados como personajes, como del espectador que sigue al film– ofrece pistas para multiplicar la experiencia en otros contextos y películas, teniendo en cuenta el devenir singular.

El film también muestra el carácter colectivo del trabajo de los científicos, no solo por ser testigos de las discusiones de Bohr y Heisenberg –respecto del conocimiento y sus utilidades prácticas– sino también por la estructura misma de la obra, que construye y reconstruye los diálogos y las hipótesis sobre el encuentro de ambos físicos.

Simultáneamente, la película ofrece una imagen “humanizada” de los científicos (López Piñero y Navarro, 1995), contrastándola con ciertas representaciones tradicionales del imaginario social.

Esta cuestión tiene varios puntos de implicancia: en primer lugar, se deja de lado la mitificación de las grandes figuras de la historia de las ciencias para dar paso a hombres corrientes, que forman parte de determinado contexto sociohistórico y que, además, tienen determinadas vivencias personales que van moldeando su devenir; y, en segundo lugar, se reconoce el carácter colectivo del trabajo científico, en el cual se discute con otros ideas provisionales, se intercambian opiniones fundamentadas y se arriesgan nuevas hipótesis, en diálogo con otros (Lemke, 1997; Otero, 2004).

De este modo, el film no sólo contribuye a la alfabetización científica (Gil y Vilches, 2001), sino que también ofrece una alternativa para poder pensar al interior de cada disciplina, al considerar al científico y a la ciencia como implicados en determinado entrecruzamiento sociohistórico. La ciencia debe poder explicarse a la sociedad, y a su vez reconocerse implicada en ella. Tan así es, que el interés sobre estos temas sigue vigente hasta nuestros días como se evidencia en la serie televisiva *Manhattan* (HBO, 2014–2015) que nos brinda nuevas oportunidades para analizar y debatir sobre estas temáticas.

Necesariamente, quedan pendientes otras dimensiones de análisis y reflexión, como la vinculación entre aspectos de la vida privada y la actividad científica, la articulación entre la mirada psicológica o psicoanalítica de los personajes y de las situaciones científicas y cómo podrían trasladarse a las unidades didácticas en el aula, la explicitación de la implicación del científico en las condiciones sociohistóricas, la creación de distintas bombas atómicas luego de Hiroshima y Nagasaki, lo que evidencia la fertilidad de este nuevo campo de investigación.

Estamos ahora en condiciones de replantearnos la pregunta central del film, que ha sido también la cuestión rectora de nuestro trabajo. Podríamos entonces preguntarnos, intentando darle mayor generalidad al debate, “¿Tiene uno, como científico, moralmente, el derecho para trabajar en la explotación práctica de los conocimientos de la ciencia?” Como planteábamos al principio, hoy la sociedad cuestiona fuertemente el trabajo de las personas que hacen ciencia. El imaginario social suele cargar las tintas en los aspectos negativos de sus usos (las muertes, la contaminación) pero suele desatender las aplicaciones positivas (que queremos creer que son la mayoría) como las vacunas, los antibióticos, los nuevos materiales o el aprovechamiento de la energía eólica. La ciencia, como toda actividad humana, está atravesada

por una multiplicidad de variables, de intereses políticos y económicos, de celos y rivalidades, de pasiones... El análisis de la película *Copenhagen* que aquí presentamos es una contribución a la enseñanza de la física y de la ciencia toda, a partir del debate riguroso que abre las puertas a cuestiones metacientíficas y permite reflexionar sobre estrategias para la formación de profesores que puedan luego ser llevadas a las aulas.

Por último, vale reconocer el surgimiento de un nuevo campo de trabajo aún en etapa de reconocimiento y definición, que se nutre y se enriquece de las aportaciones de diferentes dominios de conocimiento, con diversos modelos teóricos y abordajes metodológicos cuyos valiosos resultados hemos mostrado aquí de manera de ponerlos en debate y aportar al mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la física.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los siguientes proyectos de investigación: PIP-CONICET 11220130100609CO (2014–2016) y UBACYT 20020130100592BA (2014–2017). Agradecemos a la Prof. Marta Bulwik por compartir sus materiales pertenecientes al Programa de “Fortalecimiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales en Educación Secundaria” Ministerio de Educación (2013).

REFERENCIAS

- Agamben, G. (2010). *Signatura rerum. Sobre el método*. Barcelona: Anagrama.
- Amengual, A. (2005). *Hablando de física a la salida del cine*. Palma de Mallorca: Servicio de Publicaciones UIB.
- Area, M. (2005). Las tecnologías de la información y comunicación en el sistema escolar. Una revisión de las líneas de investigación. *Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 11(1). Disponible en: http://www.uv.es/RELIEVE/v11n1/RELIEVEv11n1_1.htm
- Azaretto, C. y Ros, C. (2014). *Investigar en psicoanálisis*. Buenos Aires: JCE.
- Cabero, J. (2001). *Tecnología educativa. Diseño y utilización de medios en la enseñanza*. Barcelona: Paidós.
- Cavelos, J. (1998). *The science of the X-files*. New York: Berkley Publishing Group.
- Cavelos, J. (1999). *The science of Star Wars*. New York: St. Martin's Press.
- Ciapuscio, G. E. (2011). De metáforas durmientes, endurecidas y nómades: un enfoque lingüístico de las metáforas en la comunicación de la ciencia, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 187(747), 89–98. doi: 10.3989/arbor.2011.747n1010.
- Cornwell, J. (2005). *Los científicos de Hitler. Ciencia, guerra y pacto con el diablo*. Barcelona: Paidós.
- Driver, R. (1985). *Cognitive psychology and pupils' frameworks in mechanics, the many faces of teaching and learning mechanics*. Proceeding of 1984 GIREP. Conference on Physics Education, Utrech.
- Faulkner, W. y Kerr, A. (1997). On seeing broken spectres: Sex and gender in twentieth century science. En J. Krige y D. Pestre (Eds.). *Science in the Twentieth Century*, Reading: Gordon and Breach Science Publishers, pp. 43-60.
- García Borrás, F. J. (2008). Bienvenido mister cine a la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6(1), 79–91
- García Borrás, F. J. (2011). Las escenas cinematográficas: una herramienta para el estudio de las concepciones alternativas de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8(3), 291–311.

Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 1(1), 26–33.

Gil, D. y Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, 27–37.

Hodson, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of some Issues Relating to Integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541–566.

Jiménez–Aleixandre, M. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.

Kakalios, J. (2005). *The physics of superheroes*. New York: Gotham Books.

Laca Arocena, F. (2014). El doble conflicto de decisión de Heisenberg. *Reflexiones* 93(1): 145–155.

Lacan, J. ([1966] 2013) *Escritos 2*, Buenos Aires: Siglo XXI.

Lacan, J. (1988) *El Seminario. Libro 7, La ética del psicoanálisis (1959–1960)*. Buenos Aires: Ediciones Paidós.

Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.

Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones. En: M. Benlloch (Comp.) *La educación en ciencias: Ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Paidós, pp.159–186.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia: Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.

López Piñero, J.M. y Navarro, V. (1995). *Història de la ciència al País Valencià*. València: Alfons el Magnànim.

Lorenzo, M. G. y Farré, A. S. (2016). La ciencia y la tecnología entre el bien y el mal. Un debate para la formación ciudadana, *Aesthethika, International Journal on Subjectivity, Politics and the Arts*, 12(3), 35–42. Disponible en: http://aesthethika.org/IMG/pdf/33-40_farre-lorenzo_que_es_lo_mejor_para_todos.pdf

Mason, J. (1996). *Qualitative researching*. Londres: Sage.

Maturana, H. R. (1995). *La realidad: ¿objetiva o construida? I Fundamentos biológicos de la realidad*. Barcelona: Anthropos Editorial.

Michel Fariña, J. J. (2014). *Ética y cine: el método clínico–analítico de lectura de películas y sus aportes a la psicología*. Tesis de Doctorado en Psicología. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Inédita.

Michel Fariña, J. J. (2015). Acto y paradigma. Un diálogo cinematográfico entre Žižek y Agamben. *Ética y Cine Journal*, 5(1), 7–9.

Michel Fariña, J. J. y Laso, E. (2015). *Breaking Bad y la moral canalla*. Disponible en: <http://eticacycine.org/Breaking-Bad,3289>

Milner, J.C. (2007). *Las inclinaciones criminales de la Europa democrática*. Buenos Aires: Manantial.

Oliva, J. M. (2008). Qué conocimientos profesionales deberíamos tener los profesores de ciencias sobre el uso de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* [en línea]: [Fecha de consulta: 24 de junio de 2017] Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92050103>

Osborne, R. y Wittrock, M. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, 490–508.

Otero, M. R. (2004). El uso de imágenes en la educación en ciencias como campo de investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 17(1), 2004.

Otero, M. R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en didáctica de las ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*. 1(1), 24–53.

Palacios, S. L. (2007). El cine y la literatura de ciencia ficción como herramientas didácticas en la enseñanza de la física: una experiencia en el aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 106–122.

Paz, J. P. (2002). Del átomo a la bomba. Notas históricas sobre Copenhague. *Revista del Teatro General San Martín*, Buenos Aires.

Petit, M. F. y Solbes, J. (2012). La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 55–72.

Petit, M. F. y Solbes, J. (2015). El cine de ciencia ficción en las clases de ciencias de enseñanza secundaria (I). Propuesta didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 311–327.

Petit, M. F. (2015). El cine de ciencia ficción en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 267–268.

Petit, M.F. y Solbes, J. (2016). El cine de ciencia ficción en las clases de ciencias de enseñanza secundaria (II). Análisis de películas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 176–191.

Posner, G.L., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W.(1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.

Pujalte, A., Adúriz-Bravo, A. y Porro, S. (2015a). ¿Una enseñanza de la ciencia de calidad para todos y todas o para una élite?: miradas confluyentes desde diferentes perspectivas teóricas. *Revista del Instituto de Investigaciones en Educación, Revista Digital*, 6(7), 36–49. Disponible en:http://hum.unne.edu.ar/revistas/educa/archivos/cont7/art_pujal.pdf

Pujalte, A., Adúriz-Bravo, A. y Porro, S. (2015b). Las imágenes de ciencia en profesoras y profesores de Biología: Entre lo que se dice y lo que se hace. *Revista Boletín Biológica*, 9(33), 5–10. Disponible en: [http://www.revistaboletinbiologica.com.ar/pdfs/N33/aportes\(33\).pdf](http://www.revistaboletinbiologica.com.ar/pdfs/N33/aportes(33).pdf)

Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction: an analysis of the foundations of the structure of knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.

Rose P. L. (1998). *Heisenberg and the Nazi atomic bomb project. A study in German culture*. Berkeley, CA: University of California Press.

Ruiz, J. J. y Solbes, J. (2013). Debates sobre cuestiones sociocientíficas. Una herramienta para aprender física y química. *Textos de Didáctica de la Lengua y de la Literatura*, 64, 32–39.

Shitu, J. y Benvenuto, O. (2012). El uso del cine de ciencia ficción para el planteo de problemas abiertos y como investigación. *Revista de Enseñanza de la Física* 25(1–2), 89–108.

Sierra, C. E. (2007). Fortalezas epistemológicas y axiológicas de la ciencia ficción: un Potosí pedagógico mal aprovechado en la enseñanza y divulgación de las ciencias. *Revista Eureka para la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 87–105.

Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013) Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* 31(3), 9–25.

Solbes, J. (1999). Los valores en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 22, 1–7.

- Solbes, J. (2013). ¿Física contemporánea o física para la ciudadanía? *Alambique*, 75, 9–17.
- Solbes, J. y Torres, N. (2014). Aspectos convergentes del pensamiento crítico y las cuestiones sociocientíficas. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 9(1), 1–13.
- Solbes, J. y Torres, N. (2015). Alternativas para reflexionar aspectos críticos de la ciencia en el aula. *Revista científica*, 22.
- Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), 151–162.
- Solbes, J. y Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103–112.
- Solbes, J. y Vilches, A. (1989). Interacciones ciencia/técnica/sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 14–20.
- Solbes, J. y Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 337–348.
- Taylor, S.J. y Bodgan, R. (1992): *Introducción a los métodos cualitativos de la investigación*. Barcelona: Paidós.
- Texto completo de Copenhague, obra de teatro en dos actos, por Michael Frayn | Temakel. (2010). Recuperado 30 de marzo de 2018, a partir de <https://temakel.net/node/85>
- Urteaga, E. (2010). Ciencia y género. *Revista Clepsydra: revista de estudios de género y teoría feminista*, 9, 121–132.
- Vieira, R. y Nascimento, S. (2007). A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(2), 174–193.
- Yager, R. E. y Penick J. E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463–469.