

# Simulaciones computacionales: un análisis fenomenográfico

M. Eugenia Seoane<sup>1</sup>, Irene Arriasecq<sup>1,2</sup>, Ileana M. Greca<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Departamento de Formación Docente. ECIENTEC.

<sup>2</sup>Conicet.

<sup>3</sup>Universidad de Burgos. España.

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

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

## Resumen

Actualmente existe un debate epistemológico en torno a los constructos “modelo” y “modelización” y cómo se vinculan con las nociones de teoría, explicación, predicción y experimentación en el contexto de las simulaciones computacionales utilizadas en la investigación contemporánea. En este trabajo se presenta un análisis sobre las nociones acerca de las simulaciones computacionales utilizadas en ciencia y las simulaciones utilizadas en la enseñanza de las ciencias que tienen diferentes grupos de investigadores noveles, desde una perspectiva fenomenográfica. Se adoptó un abordaje cualitativo para intentar comprender e interpretar los significados que los científicos de diferentes áreas asignan a las simulaciones computacionales. Se obtuvieron como resultados visiones heterogéneas en torno al concepto de modelo y simulación computacional. Algunos investigadores sustentan una noción de simulación computacional que no se corresponde completamente con el uso otorgado a las mismas en la actividad científica. Este aspecto complejo de la actividad científica contemporánea no llega a ser abordado en las clases de ciencias de la escuela secundaria y dificulta la construcción de una visión de naturaleza de la ciencia más cercana al trabajo que hoy en día realizan los científicos.

**Palabras clave:** Modelización, Simulaciones computacionales, Enseñanza de las ciencias, Debates epistemológicos, Fenomenografía.

## Abstract

There is currently a debate about epistemological constructs "model" and "modeling" and how they link with notions of theory, explanation, prediction and experimentation in the context of computer simulations used in contemporary research. This paper presents an analysis of computer simulations notions used in science and simulations notions used in science teaching with different groups of junior researchers, from a phenomenographic perspective. A qualitative approach was adopted to understand and interpret the meanings that scientists from different areas assigned to computer simulations. There were obtained heterogeneous visions on the model concept and computer simulation. Some researchers support the notion of computer simulation that does not correspond completely with that accorded in scientific activity. This complex aspect of contemporary scientific activity fails to be addressed in science classes in high school and makes difficult the construction of a nature of science vision more near to scientists work.

**Keywords:** Modeling, Computer simulations, Science education, Epistemological discussion, Phenomenography.

## I. INTRODUCCIÓN

El inicio de la interrelación entre computadoras y simulaciones puede datarse a partir de los años cuarenta, con el desarrollo de la computación digital, la disponibilidad creciente de computadoras personales y la estandarización de hardwares y softwares. Esta relación es actualmente más estrecha porque ha reorientando las prácticas de los científicos (Johnson y Lenhard, 2011). De hecho, el análisis de las cuestiones epistemológicas e históricas que contempla el uso de las simulaciones solamente ha comenzado a ser un tema de interés a final de los años noventa. Las técnicas computacionales han introducido nuevas herramientas en la ciencia. El efecto del uso de las simulaciones en el desarrollo del conocimiento es comparable a la introducción del microscopio y del telescopio, constituyendo “una significativa y permanente adición a los métodos de la ciencia” (Humphrey, 2004).

En el área de la educación en ciencias, desde hace más de tres décadas, las simulaciones son propuestas como una herramienta útil para mejorar la comprensión conceptual de los alumnos y el desarrollo de habilidades científicas en general (Smetana y Bell, 2012).

Las simulaciones educativas pueden ser definidas como ambientes de aprendizaje interactivos en los cuales un modelo simula características de un sistema, dependiendo de las acciones realizadas por los alumnos. La diferencia fundamental entre las simulaciones utilizadas en ciencias y en el ámbito educativo es que, mientras con las primeras se pretende una mejor comprensión de los fenómenos y los procesos complejos, a partir de la construcción de modelos usando teorías o consideraciones teóricas (conocidas como otras fuentes de información), en las simulaciones educativas lo que se pretende es que el alumno comprenda el modelo subyacente y, a partir de él, los principios teóricos. Para que sean efectivas, en los procesos de enseñanza y aprendizaje las simulaciones educativas siempre requieren algún tipo de guía para su utilización.

En general, las investigaciones sobre simulaciones educativas han estado centradas fundamentalmente en los aspectos cognitivos asociados a su uso, mientras que las cuestiones epistemológicas han recibido poca atención. Sin embargo, el uso de las simulaciones viene planteando una serie de cuestiones epistemológicas importantes. Los epistemólogos indican que las simulaciones computacionales constituyen no sólo una nueva herramienta, sino una nueva forma de producción científica (Galison, 1996; Winsberg, 1999). Los problemas epistemológicos que plantean son nuevos, como por ejemplo: la modificación del papel de las ecuaciones diferenciales como principal herramienta de la física (Fox Keller, 2003; Johnson y Lenhard, 2011), la naturaleza de la modelización y su relación con las teorías (Winsberg, 2010), la clásica división entre teoría y métodos empíricos de la ciencia (Humphreys, 2004) y el significado y objetivo de las explicaciones, pues el punto fuerte de las simulaciones es su capacidad de predicción y no su poder explicativo (Johnson y Lenhard, 2011). Estas discusiones son importantes para el ámbito de la enseñanza de las ciencias, pues replantean cuestiones relacionadas con la propia forma de construcción del conocimiento científico. Esta comprensión es considerada fundamental para la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados.

En este trabajo se presenta un análisis sobre las nociones acerca de las simulaciones computacionales utilizadas en ciencia y las simulaciones utilizadas en la enseñanza de las ciencias que tienen diferentes grupos de investigadores noveles, desde una perspectiva fenomenográfica. Se adoptó un abordaje cualitativo para intentar comprender e interpretar los significados que los científicos de diferentes áreas asignan a las simulaciones computacionales.

## **II. LOS PROBLEMAS EPISTEMOLÓGICOS QUE PLANTEA EL USO DE LAS SIMULACIONES COMPUTACIONALES**

Presentamos a continuación una breve reseña de las discusiones epistemológicas actuales que se generan con relación al uso de las simulaciones computacionales (Greca *et al.* 2014).

### **A. Las simulaciones como modelos semi-autónomos**

Una de las primeras cuestiones que se discutirá tiene que ver con el estatus de las simulaciones como modelos y su relación con la teoría y la experimentación. Visiones actuales sobre el papel de los modelos (Cartwright, 1999; Sismondo, 1999) sostienen que los modelos son parcialmente independientes de la teoría y del mundo y que, tienen un componente autónomo que les permite actuar como instrumentos de exploración en ambos dominios (Morgan y Morrison, 1999). Por esta particularidad mediadora, los modelos permiten comprender ciertas cuestiones que serían imposibles abordar solamente desde la teoría. Justamente, las simulaciones como modelos parecen encajar bien desde esta perspectiva mediadora: las simulaciones sirven para ir perfeccionando los propios modelos con los cuales describir los fenómenos, en la medida que permiten evaluar los parámetros para determinar aquellos más relevantes. Contribuyen tanto a la teoría como a la aplicación de la teoría a la comprensión del mundo.

### **B. Las simulaciones y la experimentación**

Los científicos, tanto experimentales como teóricos, construyen modelos computacionales y trabajan sobre ellos. Trabajar sobre un modelo significa explorar las relaciones entre datos de entrada y salida para producir predicciones contrastables. También mejorar modelos ya existentes, a través de procesos como: cambiar, agregar y/o adaptar parámetros y ejecutar las simulaciones repetidamente (Winsberg, 2003; Lenhard, 2010). Esta doble relación con la teoría y la experimentación ha desconcertado a los epistemólogos de la ciencia que buscan comprender cómo “las simulaciones puede tener rasgos

epistemológicos y metodológicos en común con la experimentación, mientras mantienen el rol de una forma de teorización científica” (Winsberg, 2003, p. 106).

Las simulaciones “imitan” el sistema de interés, pudiéndose realizar sobre ellas experimentos así como se realizan sobre cualquier otro objetivo experimental. Es por esto que la computadora podría ser el objeto físico sobre el que se experimenta. Sin embargo, existe una diferencia fundamental: el experimento computacional se basa en símbolos y dígitos; no confronta el mundo real directamente. Tiene en común con la experimentación la manipulación, pero no el hecho de que los experimentos constituyen “la prueba de fuego” de las teorías sobre el mundo (Guillemot, 2010).

En el modelado computacional, las hipótesis a ser testadas (por ejemplo, la modificación de algún parámetro) y los experimentos numéricos están en un continuo: para verificar una hipótesis ésta debe ser transformada en algoritmos e insertada en el modelo y luego se lleva a cabo la simulación con ese modelo. Es un experimento virtual que aumenta el rango de los dominios explorables pero, para algunos científicos, no produce “hechos objetivos” (Guillemot, 2010). Algunos autores plantean un estatus epistemológico superior de los experimentos frente a las simulaciones, por su mayor potencial para hacer inferencias sobre el mundo y validar sus resultados (Morgan, 2003). Winsberg, sin embargo, argumenta que no se puede hablar de superioridad epistemológica, aunque sí de prioridad: los experimentos tienen el rol crucial de testar teorías, hipótesis y modelos (Winsberg, 2010, p. 71), lo que no es posible con las simulaciones, pues para construirlas es necesario conocer sobre la dinámica del sistema, tanto teórica como experimentalmente. O sea, para construir los modelos computacionales se parte del presupuesto de que ya se conoce bastante sobre características del sistema objeto de estudio sobre el que se pretende aprender.

### **C. Las simulaciones y el objetivo de las explicaciones**

Los modelos computacionales producen una respuesta predictiva, no un modelo mimético de los mecanismos causales del fenómeno real. Por otra parte, los modelos matemáticos tradicionales tienen por objetivo producir explicaciones causales transparentes, mientras que los modelos computacionales son opacos: lo que pasa dentro del modelo computacional no es claro y, en algunos casos, la razón de la coherencia entre modelo y realidad no es completamente explicable (Johnson & Lenhard, 2011). En el caso de las simulaciones pueden existir una variedad de modelos diferentes compatibles con los datos experimentales, pues hay múltiples rutas posibles de coherencia.

### **D. La validez del conocimiento generado por las simulaciones**

Dada la forma de construcción de las simulaciones, que no derivan exclusivamente de la teoría, ¿cómo es posible evaluar la validez de sus resultados?

Para argumentar acerca de la confiabilidad de sus resultados, los científicos que trabajan con simulaciones usan diferentes estrategias (Winsberg, 2010): argumentar sobre la fundamentación teórica del modelo, sobre la solidez de las técnicas matemáticas usadas para transformar las ecuaciones del modelo en algoritmos, sobre la “calibración” de la simulación comparada con lo que se sabe del fenómeno (de forma directa con resultados experimentales, a partir del análisis o por comparación con otras simulaciones), que el sistema responde como se espera cuando se varían los parámetros o que puede reproducir algunas relaciones básicas que son predichas por leyes o teorías más fenomenológicas.

Otro punto a analizar tiene que ver con la disponibilidad de códigos de simulación; tanto los códigos públicos como los códigos comerciales no son accesibles al usuario. Esto convierte a muchos de estos códigos en cajas negras, en donde es posible conseguir una buena imitación de los fenómenos, aún desconociendo el código. Es decir, muchas veces se utilizan modelos computacionales que “proviene”, de otros modelos ya aceptados por la comunidad científica, pero que, sin embargo, no se vuelven a corroborar, analizar y estudiar su validez.

En resumen, existen varios factores que pueden afectar la confiabilidad de los resultados de una simulación, al menos en la forma de entender la validez de un modelo físico: se puede conseguir imitar un fenómeno al cancelar errores de distinto signo; otras veces es necesario incorporar hipótesis contradictorias para imitar los comportamientos reales de los sistemas. Los softwares comerciales convierten a los códigos en “cajas negras” y, a veces, un software y sus simulaciones son validados en ausencia de verificación empírica al compartir métodos con modelos verificados.

Como podemos observar, las simulaciones computacionales resignifican algunas de las nociones centrales sobre la construcción del conocimiento científico. A continuación, presentamos el estudio que hemos realizado buscando indicios de estos aspectos en usuarios habituales de las simulaciones.

### III. METODOLOGÍA

La fenomenografía es un enfoque de investigación cualitativa que tiene como objetivo encontrar las formas cualitativamente diferentes en las cuales las personas experimentan, comprenden o conciben fenómenos. Para indagar en la experiencia, se suele recurrir a las entrevistas como medio para obtener información (González, 2014). Experimentar algo implica establecer una relación entre el sujeto —quien experimenta— y el objeto —lo experimentado. El eje de la investigación fenomenográfica no es, por lo tanto, el fenómeno que se investiga o las personas que lo experimentan; lo que se estudia es la relación entre ambos. Es decir, cómo es experimentado (comprendido o percibido) el fenómeno en cuestión (Marton, 1986).

Este análisis tiene por objetivos:

- a) analizar las conceptualizaciones que desarrollan un grupo de investigadores noveles en torno a las simulaciones computacionales y poder identificar cuál es el rol que se le otorga a las mismas en diversas áreas de investigación. Entre ellas: enseñanza de la física, ciencias de la computación y matemática aplicada desde el punto de vista de los científicos que las utilizan;
- b) analizar cómo se resignifican en el contexto de las simulaciones computacionales el concepto de modelización desde el punto de vista epistemológico.
- c) identificar las diferentes aplicaciones de las simulaciones computacionales que realizan los investigadores noveles en enseñanza de la física.

En este trabajo presentamos los resultados relacionados con los conceptos de modelo científico y simulaciones computacionales. En una primera etapa de la investigación se elaboró el guión de una entrevista semiestructurada para ser realizada a investigadores noveles.

La muestra donde se implementó esta entrevista corresponde a un conjunto de dieciocho investigadores noveles que desarrollan sus investigaciones en las áreas “Enseñanza de las Ciencias” (EC), “Ciencias de la Computación” (CC) y “Matemática Computacional e Industrial” (MCI), en el curso de Posgrado denominado “Epistemología y Metodología de la Ciencia”, que realizan en el marco de sus estudios de doctorado. Los investigadores que respondieron a esta entrevista lo hicieron de forma voluntaria y sin ningún tipo de condicionamiento para la aprobación del curso. Fueron entrevistados: “Enseñanza de las Ciencias” (N=4) y “Ciencias de la Computación y Matemática Computacional e Industrial” (N=14).

Esta muestra ha sido seleccionada para estudiar las conceptualizaciones de quienes utilizan las simulaciones para la construcción de conocimiento científico y aquellos que no las usan para este fin, aunque es deseable que las conozcan y cómo se usan. Ese conocimiento sobre las simulaciones en la actividad científica es un recurso más, que suma para promover en los alumnos una imagen más adecuada de la investigación científica.

El análisis de cada entrevista consistió en la transcripción de las repuestas de cada investigador. Además, fueron leídas cada una de ellas para intentar agrupar sus conceptualizaciones en categorías comunes sobre los ejes: modelos científicos, función de los modelos y simulaciones computacionales.

### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la entrevista reflejan una diversidad de opiniones considerando la formación que tienen los investigadores noveles involucrados en este estudio. En el análisis de cada una de las categorías nos guiamos por un doble objetivo: registrar la diversidad conceptual e identificar aspectos conceptuales comunes en los discursos de los entrevistados.

Las categorías que representan la forma de comprensión de los fenómenos por parte de los investigadores noveles son:

#### A. Categoría 1: El concepto modelo en la actividad científica

En ambos grupos se encontraron conceptualizaciones homogéneas en cuanto al concepto de modelo en la actividad científica. El discurso emergente de las repuestas de los investigadores pone de manifiesto una concepción teórico – práctica del modelo utilizado en las investigaciones científicas. Sin embargo, esta perspectiva está alejada de una de las líneas vigentes y promisorias para la discusión epistemológica de los modelos y, dentro de ellos, de las simulaciones computacionales. En la actualidad se sostiene que los modelos son algo diferente que teoría más datos y son parcialmente diferentes de la teoría y del mundo. Tienen un componente autónomo que los convierte en instrumentos de exploración en ambos dominios, en herramientas para la intervención y manipulación de los fenómenos y/o procesos que pueden ser explicados (Morgan & Morrison, 1999).

A modo de ejemplos se presentan extractos de entrevistas:

- a) *“un modelo es una representación abstracta, conceptual o gráfica, de un fenómeno, un determinado sistema o proceso, con el objetivo de poder analizar, explicar o simular el mismo”* (Suj. 3, CC).
- b) *“El modelo en ciencia matemática es una relación entre los objetos matemáticos y sus conexiones con situaciones no-matemáticas. Esto implica que cuando la matemática es aplicada a situaciones fuera de ella, algún tipo de modelo matemático sirve de herramienta para explicar dicha situación”* (Suj. 1, EC).
- c) *Un modelo es una tentativa de representación de la realidad (una primera aproximación). Ellos facilitan la forma de explicación de algunos aspectos de la misma. (Suj. 2, EC)*
- d) *Un modelo es una representación teórica de un fenómeno. Son: facilitadores y organizadores de conocimiento; elementos que envuelven las tecnologías y contraen nuevas tecnologías; permiten establecer relaciones entre los distintos conocimientos. (Suj. 3, EC)*

*Dimensión: la función del modelo en la actividad científica*

1) “La función didáctica del modelo”

- a) *“La función del modelo tiene implicancias didácticas para enseñar y reflexionar sobre determinados fenómenos que se estudian”* (Suj. 1, EC).

2) “La función del modelo como representación de la realidad”

- a) *“La función del modelo en la actividad científica consiste en realizar pruebas en ambientes controlados, sin afectar al objeto real o al contexto real del mismo”* (Suj.4, MCI).
- b) *“La función de permitir el estudio de ciertas situaciones reales, facilitando que varias situaciones sean superpuestas para el mismo”.* (Suj. 3, EC)

3) “El modelo como instrumento de comprensión de la realidad”

- a) *“La función que cumplen es muy importante, dado que sirven como instrumentos principales para poder entender la realidad y toda su complejidad. De esta manera, algunas cosas escapan del análisis, pero sin embargo permiten entender “algo” de lo que sucede en el mundo. Si no fuese por los modelos, muchísimos de los avances científicos que han surgido no existirían”* (Suj. 3, CC).
- b) *“En enseñanza de la física los modelos sirven para la comprensión de conceptos, un entendimiento de carácter tentativo y provisorio de ciencia.”* (Suj. 2, EC)

Los grupos entrevistados en cada una de las áreas expuestas anteriormente, consideran que la función del modelo en la actividad científica permite abordar los fenómenos que representan teniendo en cuenta el área de estudio en donde se utilizan, a pesar que las preguntas estaban planteadas de forma general y no específicamente en su área de trabajo. Así, las funciones enunciadas resultan epistemológicamente pobres y parecen indicar que estos investigadores no dimensionan el verdadero alcance de los modelos en la actividad científica. En el caso particular de los investigadores en enseñanza de las ciencias, solamente consideran que la funcionalidad del modelo está relacionada con las implicancias didácticas para el proceso de enseñanza y aprendizaje y parecen no percibir su función en el proceso de construcción del conocimiento.

Otro de los puntos interesantes para resaltar es que si bien los investigadores noveles entrevistados asistieron y aprobaron un curso de posgrado en Epistemología, no parecen valorar la funcionalidad de los modelos científicos.

Las nociones de modelo y modelización han estado presentes por un buen tiempo en forma implícita en los currículos de ciencias de todos los niveles educativos. Sin embargo, recientemente, los investigadores en enseñanza de las ciencias comenzaron a abogar por un tratamiento explícito del constructo epistemológico de modelo en la enseñanza de las ciencias. Sería deseable entonces que los investigadores noveles en el área enseñanza de las ciencias tuvieran la oportunidad de profundizar acerca de qué son los modelos científicos y cuál es su función.

## **B. Categoría 2: la noción de simulación computacional en la actividad científica**

1) “Las simulaciones computacionales y su relación con los softwares educativos”

Los investigadores noveles en enseñanza de las ciencias asocian las simulaciones computacionales con softwares educativos utilizados en su práctica docente. Algunos investigadores no lograron caracterizar las mismas porque “las consideran ajenas a su área de investigación”.

A modo de ejemplos se presentan extractos de entrevistas:

a) Es realizar una práctica aplicando un software, el software está dotado por múltiples opciones donde se pueden cambiar las condiciones iniciales de la práctica, por ejemplo, al realizar ejercicios sobre las leyes de Newton, más exactamente un plano inclinado, el software nos da la opción de cambiar el ángulo de inclinación, los coeficientes de rozamiento, el valor de la masa, la distancia y otras variables que pueden entrar al estudio de éste tema (Suj. 1, EC).

b) La simulación computacional es reproducir mediante un software eventos que se dan en la realidad. Por ejemplo un simulador de eventos azarosos como arrojar dados y calcular probabilidades (Suj. 2, EC).

c) En la SC el software le ofrece a posibilidad al usuario de alterar parámetros para observar las modificaciones con el propósito de verificar las teorías. (Suj. 3, EC)

## 2) “Las simulaciones computacionales y su relación con la realidad”.

Los investigadores nóveles de Ciencias de la Computación y Matemática Computacional le otorgan a las simulaciones computacionales el valor de reproducción virtual de la realidad. Ellos consideran que las mismas son comparables a experimentos virtuales, en donde el investigador ejecuta el modelo computacional y establece relaciones entre las predicciones y los resultados obtenidos. Sin embargo, las simulaciones computacionales son un modo completamente nuevo de actividad científica que, aun compartiendo con la teoría la manipulación de ecuaciones y con la experimentación la forma de manipulación de los algoritmos, dan por resultado largas listas de datos que deben ser interpretados.

a) Se trata de un proceso donde se intenta reproducir una posible experiencia, manejando ciertas variables. Permite comparar resultados modificando las condiciones del problema planteado (Suj 2, MCI).

b) Una simulación es la ejecución del comportamiento de un modelo en base a una entrada en particular. Por ejemplo, la simulación del flujo sanguíneo en alguna arteria. Se simula el canal, y luego se simula el comportamiento de la sangre. Una vez terminado un modelo robusto y adecuado, se puede proceder a simular, pudiendo introducir obstáculos, como por ejemplo coágulos, y poder estudiar qué sucede cuando estos aparecen (Suj 3, CC).

**Dimensión:** La función de las simulaciones en la producción de conocimiento científico”

Los investigadores nóveles en Ciencias de la Computación y Matemática Computacional, consideran que las simulaciones computacionales favorecen la producción de conocimiento científico. Aquí se puede establecer una relación con lo que ocurre actualmente, porque las simulaciones computacionales favorecen la generación de conocimientos en diversas áreas científicas. Por ejemplo, uno de los entrevistados menciona lo siguiente:

*“En mi opinión, las simulaciones computacionales han generado una revolución en la forma de producción de conocimiento científico. Gracias a ellas, tenemos la oportunidad de probar nuestras hipótesis de forma mucho más rápida y con mucha más precisión, y sin necesidad hacer trabajo de campo para todo. En mi caso, no podría hacer nada sin simulaciones computacionales, ya que no podría incluso analizar las estructuras que encuentro en mis imágenes de estudio.”* (Suj. 3, CC)

Cabe destacar que ninguno de los entrevistados del área de enseñanza de las ciencias logró realizar una caracterización de los aspectos más relevantes de las simulaciones computacionales. Por este motivo, se podría inferir que no pueden reconocer el alcance que tienen las simulaciones en el desarrollo de la producción científica.

A partir de las respuestas obtenidas por las dos poblaciones de investigadores nóveles se observa una ambigüedad en las interpretaciones del concepto de simulación computacional. Por un lado, tenemos los investigadores en enseñanza de las ciencias quienes consideran que las simulaciones son softwares que facilitan la reproducción de fenómenos para el estudio del mismo o para la manipulación de variables que son poco “accesibles” en el aula. Sin embargo, se observa en sus repuestas un reduccionismo a aspectos vinculados con la experimentación y la manipulación de variables en las simulaciones para educación y dejan de considerarse aspectos tales como: promover el aprendizaje de conceptos, favorecer el cambio conceptual y el desarrollo de habilidades procedimentales.

Por otra parte, los investigadores nóveles que pertenecen a las áreas Ciencias de la Computación y Matemática Computacional consideran que las simulaciones computacionales son modelos que se construyen para representar un fenómeno; sin embargo esta definición no alcanza porque la simulación computacional es considerada hoy como modelos mediadores entre la teoría y la práctica. Las simulaciones no pueden ser reducidas a meros cálculos porque se utilizan para perfeccionar los propios modelos o teorías a partir de los cuales son descriptos los fenómenos, como hemos discutido anteriormente.

## V. CONCLUSIÓN

En este trabajo se abordó la primera etapa que corresponde al proyecto de investigación “*Simulaciones computacionales en ciencia y simulaciones en enseñanza de las ciencias: debates epistemológicos actuales*” donde se realizó una entrevista semiestructurada con los objetivos de categorizar las diferentes discusiones epistemológicas que se desarrollan en torno a las simulaciones computacionales y poder identificar cuál es el rol que se le otorga a las mismas en diversas áreas de investigación. La entrevista fue implementada con un grupo de investigadores noveles que desarrollan sus actividades en áreas de investigación como: “*Enseñanza de las Ciencias*” y “*Ciencias de la Computación*” y “*Matemática Computacional e Industrial*”.

El análisis de la entrevista semiestructurada permitió examinar cada una de las conceptualizaciones que presentan los investigadores noveles. Los tópicos abordados corresponden a la noción modelo en la actividad científica, la función que cumplen los modelos científicos, el concepto de simulación computacional, la relación del concepto de modelo con el de simulación y la forma de producción científica con el uso de simulaciones computacionales. Las concepciones entre los investigadores son diversas. Por un lado, los investigadores en enseñanza de las ciencias consideran que los modelos son representaciones abstractas de un fenómeno que se desea estudiar y tienen, además, una función didáctica. Sin embargo, no logran profundizar en aspectos vinculados con la funcionalidad de los mismos. Por otra parte, los investigadores en Ciencias de la Computación y Matemática computacional consideran que los modelos son una representación abstracta de algunos fenómenos que permiten explicarlos. Parecería que sostienen una concepción “tradicional” de la noción de modelo, que posiblemente ni siquiera usen cuando están trabajando con ellos.

Así, a partir de cada una de las categorías establecidas se observa una conceptualización reduccionista en cuanto a las discusiones que hoy en día se están abordando en relación con los conceptos de modelos científicos, su funcionalidad y su relación con las simulaciones computacionales.

Estos resultados son relevantes para el área de enseñanza de las ciencias porque muestran que los investigadores noveles del área, a pesar de la presencia del discurso sobre modelos en dicha área (y de haber tenido la posibilidad de cursar asignaturas donde estas cuestiones son abordadas) no consiguen desarrollar una visión más actual y compleja sobre estos aspectos. Si este colectivo presenta estas visiones es poco probable que consigan proponer secuencia didácticas que promuevan en los alumnos la construcción de una visión de ciencia que se corresponda más con el trabajo científico que se realiza en la actualidad y, a la vez, se perdería la posibilidad de utilizar las simulaciones como herramientas para construir conocimiento científico escolar.

Los resultados obtenidos en este trabajo formarán parte de la elaboración de entrevistas semiestructuradas con investigadores en ciencia que utilicen las simulaciones computacionales, modeladores de las mismas, desarrolladores tanto de las mismas como de software educativos y epistemólogos que se encuentran en el eje de debate de cada una de las discusiones que involucran los tópicos de “modelo” y “modelización” y cómo se vinculan con las nociones de teoría, explicación, predicción y experimentación en el contexto de las simulaciones computacionales utilizadas en la investigación contemporánea.

## REFERENCIAS

Cartwright, N. (1999). Models and the limits of theory: quantum Hamiltonians and the BCS model of superconductivity. In M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators: perspective on natural and social science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Fox Keller, E. (2003). Models, simulations and “computer experiments”. In Radder, H (Ed.) *The philosophy of scientific experimentation*, Pittsburgh University Press.

Galison, P. (1996). Computer Simulation and the Trading Zone. In Peter Galison and David J. Stump, *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*. Stanford: Stanford University Press.

Gonzalez Ugalde, C. (2014). Investigación fenomenográfica. *Revista Internacional de Investigación en Educación*, 7 (14), pp.141-158.

Greca, I., Seoane, E. y Arriasecq, I. (2014). Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education. *Sci & Education*, 23, Number 1.

Guillemot, H. (2010). Connections between simulations and observation in climate computer modeling. Scientist's practices and "bottom-up epistemology" lessons, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 41, pp. 242-252.

Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. New York: Oxford University Press.

Johnson A., y Lenhard J. (2011). Toward a New Culture of Prediction. Computational Modeling in the Era of Desktop Computing. En Nordmann, A. et al. (Eds), *Science Transformed? Debating Claims of an Epochal Break*. University of Pittsburgh Press.

Lenhard, J. (2010). Computation and Simulation. In R. Frodeman, J. T. Klein, & C. Mitcham (eds.), *The Oxford Handbook on Interdisciplinarity*. Oxford: Oxford University Press. pp. 246-258.

Marton, F. (1986). Phenomenography: A Research Approach to Investigating Different Understandings of Reality. *Journal of Thought*, 21(3), 28-49.

Morgan, M. (2003). Experiments Without Material Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments, in Hans Radder (ed.), *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press. pp. 216-235.

Morgan, M. S., y Morrison, M. (1999). *Models as mediators: perspective on natural and social science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sismondo, S. (1999). Models, simulations and their objects. *Sci Context*, 12(2), pp. 247-260.

Smetana, L. K. y Bell R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature, *International Journal of Science Education*, 34, 9, pp. 1337-1370.

Winsberg, E. (1999). Sanctioning models: the epistemology of simulation. *Sci Context*, 12, 2.

Winsberg, E. (2003). Simulated Experiments: Methodology for a virtual world. *Philosophy of Science*, 70, pp. 105-125.

Winsberg, E. (2010). *Science in the age of computer simulation*. Chicago: The University of Chicago Press.