

Análisis de una secuencia de enseñanza para el abordaje de fenómenos meteorológicos extremos en la escuela secundaria

Analysis of a teaching-learning sequence to address extreme weather phenomena in high school

Seoane, María Eugenia^{1*}, Arriasecq, Irene¹², Greca, Ileana M.³, Cayul, Esther¹ y Adúriz-Bravo, Agustín^{2,4}

¹ECienTec, Departamento de Formación Docente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, Argentina.

²CONICET.

³Universidad de Burgos. Burgos, España.

⁴Instituto CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

*E-mail: seoanemeugenia@gmail.com

Resumen

En este trabajo de investigación se presentan los resultados obtenidos en la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje para fenómenos meteorológicos extremos en un curso de 6° año de la escuela secundaria, desde un enfoque de naturaleza de la ciencia que contempla tanto los lineamientos de la perspectiva denominada “parecidos de familia” como las ideas centrales de la corriente epistemológica de “ciencia posnormal”. En este caso se analizan los resultados obtenidos de un pretest y un posttest, producciones del alumnado, cuaderno de observaciones, e intercambios con la docente. A pesar de las limitaciones que aparecieron durante la implementación, los resultados son alentadores: los estudiantes muestran haber adquirido algunas herramientas teóricas para tomar decisiones informadas y críticas.

Palabras clave: Secuencia de enseñanza y aprendizaje; Fenómenos meteorológicos extremos; Enfoque de parecidos de familia; Ciencia posnormal; Investigación basada en el diseño.

Abstract

This research work presents the results obtained in the implementation of a teaching-learning sequence for extreme weather phenomena in a 6th-year high-school class, from a nature of science approach that contemplates both the guidelines of the perspective called “family resemblance” and the central ideas of the epistemological current of “postnormal science”. In this case,

results obtained from a pre-test and a post-test, students' productions, the researchers' class diary, and the exchanges with the teacher are analyzed. Despite the limitations that appeared during implementation, results are encouraging, showing that students acquired some theoretical tools to make informed and critical decisions.

Keywords: Teaching-learning sequence; Extreme weather phenomena; Family resemblance approach; Postnormal science; Design-based research.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se considera científicamente alfabetizadas a las personas que no solo conocen contenidos de la ciencia, sino también su naturaleza: cómo y con qué finalidades se produce el conocimiento, cómo y quiénes lo validan, cómo evoluciona o progresa en el tiempo, cuáles son las relaciones de la ciencia con su contexto social, cultural, político y económico de cada momento y lugar, por mencionar solo algunos aspectos metateóricos de análisis de la naturaleza de la ciencia (NOS, por sus siglas en inglés). Cabe destacar que, para analizar en las clases de ciencias problemas globales actuales que enfrenta la humanidad, necesarios para formar alumnado para el ejercicio de la ciudadanía (Dirección General de Cultura y Educación, Subsecretaría de Educación, 2010), es indispensable que la noción misma de “problema” adquiera un mayor protagonismo.

Los problemas escolares valiosos están dominados por fenómenos complejos y dinámicos, cuya evolución no es posible predecir completamente. Se requiere un cambio en la mirada de la ciencia que asuma que ella debe convivir con la impredecibilidad, el control incompleto y una pluralidad de perspectivas legítimas, donde la incertidumbre no desaparece, sino que se la gestiona; los valores no deben presuponerse, sino explicitarse; y la forma de producción del conocimiento exige el diálogo interactivo entre investigadores, agentes sociales y funcionarios gubernamentales. Este enfoque no es el habitual en clases de ciencias de escuela secundaria, donde los problemas se abordan desde disciplinas específicas. Por ejemplo, en el caso particular de física, los problemas que se abordan siempre tienen una solución analítica y no es necesario recurrir a la modelización computacional.

La discusión de todos estos aspectos epistemológicos en la escuela secundaria enriquecería la comprensión del propio contenido científico, permitiéndonos, entre otras cosas, pensar críticamente sobre la interdisciplinariedad o sobre el uso de modelos y simulaciones computacionales en el estudio de estos fenómenos. Con ello, podemos fomentar en el estudiantado las competencias necesarias para la toma de decisiones fundamentadas y responsables para la prevención de riesgos, a partir de la comprensión de las disciplinas, los saberes involucrados y sus relaciones con aspectos políticos, económicos y culturales presentes en estos problemas.

Los fenómenos meteorológicos extremos (FME) parecen constituir un buen ejemplo de problemas que solo pueden abordarse con el uso de una red intrincada de disciplinas. La meteorología, base para el estudio de FME, es un área científica de relevancia para comprender la compleja forma en que se produce el conocimiento actualmente y en el que se conectan, en una red intrincada (“seamless web”) y sin fronteras claras, áreas como matemática, física, tecnología e ingeniería junto con consideraciones económicas, políticas y sociales (Seoane, Greca, Arriaseq y Adúriz-Bravo, 2022). A pesar de no ser un área a la que los historiadores de la ciencia le hayan dedicado demasiada atención, la meteorología fue una de las primeras disciplinas científicas en la que los métodos numéricos transformaron la práctica de sus científicos y representaron el paso emblemático de la matematización al modelado a partir del uso de la computadora.

En este trabajo se discutirán los resultados obtenidos en la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) para FME en un curso de 6° año de la escuela secundaria de la provincia de Buenos Aires en la materia Física, que fuera desarrollada desde la visión antes expuesta.

II. MARCO TEÓRICO

El estudio de FME incluye prácticas y toma de decisiones frente a problemas sociocientíficos complejos. Estos fenómenos son abordados desde distintas disciplinas científico-tecnológicas, así como también incluyen disciplinas sociales como: economía (financiación de las investigaciones y proyección económica de costos y pérdidas frente a ocurrencia de determinados FME) o comunicación social (comunicación de la incertidumbre de aspectos tecnológicos, metodológicos y epistémicos; comunicación de los pronósticos para la toma de decisiones).

Los aspectos epistemológicos que fueron abordados en la SEA surgen de las relaciones entre las cuestiones metateóricas clásicas (Adúriz-Bravo, 2001, 2005; Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo, 2017) y las categorías desde el

enfoque de “parecidos de familia” de NOS (Erduran y Dagher, 2014) para el caso de los FME (Arriasecq, Seoane, Greca y Aduríz-Bravo, en prensa). Si tomamos en consideración las dimensiones de Erduran y Dagher (2014), la dimensión cognitiva-epistémica tiene más peso en el análisis de los aspectos más significativos del problema (prácticas científicas; métodos y reglas metodológicas; conocimiento producido). Pero la dimensión social-institucional atraviesa de forma holística el problema en cuestión, ya que involucra las finalidades y valores en juego. En la ciencia aplicada se pueden identificar aspectos vinculados con la “sociología interna” de la ciencia y resulta un buen ejercicio para los estudiantes analizar también el problema con categorías de la dimensión social-institucional. Un buen ejemplo en el que intervienen ambas categorías se puede obtener a partir del análisis de los sistemas de alerta temprana de los servicios meteorológicos de los distintos países y de la toma de decisiones para la suspensión de actividades por la ocurrencia de FME, teniendo en cuenta la incertidumbre inherente a los modelos computacionales y que la prevención y anticipación contemplan también la posibilidad de no ocurrencia puntual del fenómeno. Esta característica es propia de los fenómenos en cuestión y quienes tienen la responsabilidad de tomar decisiones deben comprenderla (Arriasecq *et al.*, en prensa).

Además, teniendo en cuenta que en los problemas estudiados en FME los hechos son inciertos, existen valores en disputa, el riesgo es alto y las decisiones son urgentes, recurrimos al diagrama planteado por Funtowicz y Ravetz (2000) para problemas de ciencia “posnormal” (CPN) como una herramienta heurística que facilite su tratamiento en el aula. Desde esta perspectiva, una vez identificado que nos encontramos ante un problema de CPN, los estudiantes, con el acompañamiento del docente, determinarán cuáles son las disciplinas científicas y tecnológicas que están involucradas en la problemática y las distintas “voces” que tienen algo para aportar en la solución del problema. Es clave resaltar la importancia de identificar el trabajo interdisciplinario, al que se debe recurrir más allá de las disciplinas aisladas con sus respectivas hiperespecializaciones, disciplinas necesarias, pero no suficientes para resolver problemas complejos. También es necesario enfatizar la importancia del modelado en general y de las simulaciones computacionales en particular, con su inherente incertidumbre que la ciencia debe manejar y los tomadores de decisiones gestionar con los aportes de comunidades extendidas de pares.

III. METODOLOGÍA

Una SEA contempla la planificación integral de los procesos de enseñanza y aprendizaje y, por lo tanto, abarca qué contenidos específicos se enseñarán, en qué contexto, con qué objetivos, en qué secuencia temporal y de qué manera se llevarán a cabo y evaluarán cada una de las actividades relacionadas con la enseñanza de los temas o contenidos curriculares abordados, además de materiales y recursos utilizados por el profesor en el aula: videos, lecturas y simulaciones educativas, así como los documentos y hojas de trabajo desarrollados por los alumnos.

La SEA desarrollada es evaluada siguiendo la metodología de investigación basada en diseño (IBD). Desde hace unas décadas, la IBD con SEA es cada vez más aceptada como método de generar conocimiento sobre la naturaleza y las condiciones de la enseñanza y el aprendizaje, mediante la planificación y el desarrollo de innovación educativa en entornos de aula a través de ciclos de diseño, implementación, análisis y rediseño (Guisasola, Ametller y Zuza, 2021). La importancia de la IBD en este trabajo radica en su capacidad para integrar la investigación y la transferencia de conocimientos en un ciclo iterativo. Cabe destacar el rol central del docente que, desde el comienzo del diseño de la investigación, trabajó en conjunto con el grupo de investigadoras, aportando su experiencia en el contexto específico de aula. También participó de las instancias de ajustes necesarios de la SEA y en la evaluación final.

La implementación de la SEA se desarrolló en un 6º año de física en una escuela preuniversitaria nacional (Escuela Nacional Ernesto Sábato, de la ciudad de Tandil) dependiente de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. La docente a cargo del curso forma parte del grupo de investigación del cual son integrantes las primeras dos autoras del trabajo. Este trabajo en conjunto permitió una comunicación constante. La implementación se desarrolló durante el año 2023 con un grupo de 27 estudiantes (de entre 17 y 18 años). Como técnicas de recolección de datos, desde un enfoque cualitativo se empleó la observación participante a través del registro de notas de campo (Spradley, 2016) por parte de las investigadoras. Además, se usaron:

- Cuestionario con preguntas cerradas y abiertas: desarrollado a partir de las categorías del enfoque de parecidos de familia adaptado para los FME (Seoane *et al.*, 2022) y, por otro, en entrevistas con expertos (Martínez-Martínez, Ortiz-Revilla y Greca, 2023). El pretest fue respondido por los estudiantes una semana antes del comienzo de la implementación, mientras que el postest se respondió en promedio 15 días después de culminar dicha implementación. Las respuestas obtenidas se analizaron con el programa SPSS v.28.
- Diario de clases: a cargo de las investigadoras, en calidad de observadoras no participantes.
- Rúbricas para evaluar las actividades de la SEA por parte del alumnado.

- Producciones de los estudiantes: los estudiantes realizaron producciones audiovisuales (videos de TikTok) que contemplaron las discusiones abordadas en la SEA a partir de consignas propuestas en el diseño de la misma. Tales producciones fueron analizadas a partir del enfoque fenomenográfico (Marton, 1986), considerando los objetivos planteados para la SEA y las categorías propuestas desde la NOS para el abordaje de FME.

IV. ESTRUCTURA DE LA SEA PARA FME

Para la elaboración de las actividades de la SEA se consideraron las características de los FME encontrados por Seoane *et al.* (2022). Para la selección de los materiales bibliográficos y audiovisuales, se recurrió a casos históricos o noticias contemporáneas de la ciencia como fuentes para comprender la NOS (Allchin, 2013). Esta elección para la selección de materiales está en consonancia con el supuesto de que las diversas ideas sobre la ciencia necesitan de contextos concretos y particulares para conseguir que los estudiantes se familiaricen con los métodos de la ciencia, los procesos de comunicación y sus normas institucionales. La Tabla I muestra los temas y aspectos abordados desde el enfoque de parecidos de familia y su relación con las cuestiones metateóricas clásicas (Adúriz-Bravo, 2005).

TABLA I. Estructura de la SEA para FME¹.

<i>Tema</i>	<i>Categorías abordadas desde el enfoque parecidos de familia</i>	<i>Cuestiones metateóricas clásicas</i>
TEMA 1: “Los tornados, un fenómeno meteorológico extremo, destructivo y mortal”	Conocimiento producido Prácticas científicas	Correspondencia y racionalidad Intervención y metodologías
TEMA 2: “Observación y predicción en meteorología: un recorrido histórico”	Métodos y reglas metodológicas Conocimiento producido Certificación y difusión social Organizaciones e interacciones sociales Estructuras del poder político	Intervención y metodologías Contextos y valores Evolución y juicio
TEMA 3: “La importancia de la modelización en la investigación científica y en la meteorología”	Métodos y reglas metodológicas Conocimiento producido Financiación Organización e interacciones sociales	Evolución y juicio Estructura y demarcación Contextos y valores
TEMA 4: “El proceso de modelización en meteorología y los pronósticos del tiempo”	Métodos y reglas metodológicas Certificación y difusión social Valores de la ciencia	Intervención y metodologías Contextos y valores
TEMA 5: “Fenómenos meteorológicos: sistemas complejos, caóticos e inciertos”	Prácticas científicas Financiación	Intervención y metodologías Representación y lenguajes Contextos y valores
TEMA 6: “Nowcasting: la importancia de la actualización de la información meteorológica para la prevención” ²	Métodos y reglas metodológicas Conocimiento producido Certificación y difusión social Estructuras del poder político	Intervención y metodologías Estructura y demarcación Contextos y valores
TEMA 7: “Actividades de cierre de la SEA”	Valores sociales de la ciencia	Contexto y valores

V. RESULTADOS DE LA PRIMERA IMPLEMENTACIÓN DE LA SEA

A. Pretest y postest

¹En cada uno de los temas se encuentra el link de acceso a las actividades y materiales abordados.

²Este tema no logró desarrollarse por dos cuestiones: por un lado, demandó más de una clase cada tema desarrollado y, por otro lado, la suspensión de clases no contempladas en los tiempos institucionales destinados a su implementación (paro docente).

Con las preguntas cerradas del instrumento³ se pretende indagar sobre los conocimientos del alumnado con respecto a la temática en meteorología (por ejemplo, la certeza sobre los pronósticos del tiempo; la importancia de los datos meteorológicos pasados para la meteorología actual; los instrumentos empleados en meteorología; qué tipo de valor tienen los estudios meteorológicos -social, científico, económico; de dónde proviene la financiación; cómo son las inversiones en la previsión meteorológica, etc. Con las preguntas abiertas se pretende identificar otros conocimientos respecto a la meteorología a partir de una noticia periodística (*“El modelo europeo vs. el estadounidense: ¿cuál es el mejor para predecir la trayectoria de un huracán como Irma?”*⁴) y de un fragmento de texto extraído del libro *La evolución de la meteorología*⁵. El primer ítem se centra en cuestiones relacionadas con la modelización en la meteorología y el segundo, sobre las incertidumbres en los pronósticos y la toma de decisiones.

Los resultados obtenidos en el postest superan en general a los del pretest (descripción detallada en Arriasecq *et al.*, en prensa). Se observa una mejoría en la conceptualización epistemológica sobre temas complejos como el papel de los modelos computacionales, tanto a nivel del avance del conocimiento como en la capacidad para estimar escenarios posibles para la toma de decisiones. También se destaca una mejor comprensión de la importancia de los datos históricos en la modelización y la necesidad de usar varios modelos en la elaboración de pronósticos del tiempo.

Con relación al concepto de incertidumbre, los estudiantes reconocen que la información brindada por los servicios meteorológicos permite tomar decisiones más allá de que los pronósticos sean inciertos y sea imposible acceder a la totalidad de los datos atmosféricos, asumiendo que la atmósfera es un sistema caótico y la incertidumbre no se puede eliminar, sino gestionarla de la mejor manera posible (de acuerdo al modelo CPN). En el extremo opuesto, nos encontramos con que los estudiantes ponderan con valores muy bajos los aspectos relacionados con inversiones en previsión meteorológica. Este es un aspecto a profundizar más en las actividades de la SEA.

En relación con los resultados obtenidos para las preguntas abiertas, se observa una mejoría en la comprensión de conceptos como “modelización computacional” e “incertidumbre”. En el caso de la “modelización computacional”, 14 estudiantes mejoraron la conceptualización que tienen sobre los modelos y 11 estudiantes mantienen sus mismas respuestas (2 estudiantes no responden al test). En relación con el concepto de incertidumbre, 11 estudiantes mejoraron la forma de interpretar este concepto, mientras que 14 estudiantes mantienen sus respuestas sin ampliar aspectos asociados a la incertidumbre de los pronósticos. En el caso del concepto de modelización computacional, hay elementos relevantes que no son mencionados (proceso de modelización, rol de los modelos en la elaboración de pronósticos, etc.). En el caso del concepto de incertidumbre, aunque las respuestas muestran una cierta comprensión, solamente un estudiante ha conseguido identificar los tipos de incertidumbre propios de los FME abordados en la SEA.

B. Rúbricas

La elaboración de las rúbricas se consensuó con el equipo investigador con el objetivo de que los estudiantes evalúen diversos aspectos de las actividades que debieron realizar:

- Comprensión de la actividad, lecturas y videos: escala del 1 al 5 (donde 1 es “la comprendí muy bien” y 5 “no comprendí nada”).
- Grado de dificultad con la actividad: escala del 1 al 5 (donde 1 es “re⁶ fácil” y 5 “re difícil”).
- Tiempo empleado en resolver las actividades: escala del 1 al 5 (donde 1 es “mucho menos tiempo de lo que habitualmente le dedico a las actividades de Física” y 5 “mucho más tiempo de lo que habitualmente le dedico a las actividades de Física”).
- Interés que le generaron las lecturas y los videos: escala del 1 al 5 (donde 1 es “re interesante” y 5 es “muy poco interesante”).

Los resultados de las rúbricas indican que, en relación con la “comprensión” de las actividades de los temas desarrollados en la implementación de la SEA, los estudiantes las comprendieron “muy bien”. Para el grado dificultad, más de la mitad de los estudiantes respondieron que las actividades son similares a las que resuelven habitualmente. Respecto al tiempo empleado, más de la mitad de los estudiantes responden que le dedican entre el mismo tiempo o menos que habitualmente les dedican a las actividades de Física. Con relación a los materiales audiovisuales y bibliográficos de los temas desarrollados, más de la mitad de los estudiantes manifestaron comprender muy bien las

³Para acceder a las preguntas del test, ir al siguiente vínculo: [TEST](#)

⁴<https://www.bbc.com/mundo/noticias-41182300> publicada por la BBC en el año 2017.

⁵Teague, K.A. y Gallichio, N. (2017). *The evolution of meteorology. A Look into the Past, Present, and Future of Weather Forecasting*. UK: Editorial. Wiley-Blackwell.

⁶La expresión “re” es un vocablo común utilizado por los adolescentes.

lecturas y los videos y que ambos les resultaron interesantes. Sin embargo, se identifica que el podcast del TEMA 2 fue solo bien comprendido después de comentarlo con grupo y docente. Se evidencia también que el interés por el podcast del TEMA 2, por las lecturas del TEMA 3, 4 y 5 y por los videos del TEMA 4 no genera interés ni desinterés. La Tabla II resume las respuestas de los estudiantes en cada uno de los temas según los criterios de comprensión, grado de dificultad, tiempo empleado y el interés generado tanto por los videos como por las lecturas y el podcast.

TABLA II. Respuestas de los estudiantes.

Tema	Total Estudiantes	Actividades Comprendidas "Muy Bien"	Grado de Dificultad (Fácil)	Grado de Dificultad (Normal)	Tiempo Empleado (Poco Menos)	Tiempo Empleado (Mismo Tiempo)	Comprensión de Videos "Muy Bien"	Interés por Videos "Interesante"	Comprensión de Lecturas "Muy Bien"	Interés por Lecturas "Interesante"	Interés por Lecturas "No me Genera Interés ni Desinterés"	Comprensión de Podcast	Interés por Podcast
1	25	21	11	8	12	7	22	16	-	-	-	-	-
2	22	12	8	9	6	8	-	-	15	9	6	8	10 (normal), 6 (poco interesante)
3	24	18	8	11	-	8	17	11	19	-	10	-	-
4	17	10	-	9	-	7	14	-	13	-	8	-	-
5	19	13	-	12	-	10	13	10	12	-	11	-	-

C. Producciones audiovisuales de los estudiantes

Las producciones audiovisuales (videos de TikTok) se solicitaron como parte de la actividad de cierre de la SEA. Los estudiantes se dividieron en 7 grupos, de acuerdo con el número total del curso (6 grupos de 4 estudiantes cada uno y un grupo de 3 estudiantes). Dichas producciones se corresponden con los TEMAS propuestos en la SEA⁷. Para evaluar las producciones audiovisuales se consensuó con la docente la valoración de las mismas: "B" (bien) (si el video responde a todas las preguntas propuestas estableciendo relaciones entre los temas abordados), "R" (regular) (si el video responde parcialmente a algunas de las preguntas propuestas sin establecer relaciones entre los temas abordados) y "M" (mal) (si el video no responde a las preguntas propuestas y no establece relaciones entre los temas abordados). Resumimos los resultados en la Tabla III.

TABLA III. Producciones audiovisuales de los estudiantes.

Tema	Grupo	Tema Abordado	Valoración
1	1	Fenómenos meteorológicos extremos	R
1	2	Fenómenos meteorológicos extremos en el partido de Tandil	R
2	3	Producción audiovisual sobre la evolución histórica de los instrumentos utilizados en meteorología	B
3 y 4	4	Video sobre cómo se investigan los fenómenos meteorológicos	B
5	5	Características de complejidad y caos inherente a los fenómenos meteorológicos	B
6	6	Nowcasting	B
-	7	Comunicación de los temas más importantes desarrollados en la SEA	M

⁷ Por sugerencia de la docente se incluyó en la evaluación el tema 6 dado que contempla aspectos ya discutidos en los temas anteriores.

Del análisis realizado a partir de las producciones audiovisuales de los estudiantes se infiere que el producto elaborado por tres grupos se redujo a dar respuesta a las preguntas que se les proporcionaron como guía y no lograron establecer relaciones con los materiales analizados en los temas que desarrollaron en clase.

D. Diario de clases de las investigadoras e intercambios con la docente

La Tabla IV organiza las sugerencias del diario de campo de las investigadoras y los intercambios con la docente por tema.

TABLA IV. Diario de campo de las investigadoras e intercambios con la docente.

<i>Tema</i>	<i>Diario de Clases de las Investigadoras</i>	<i>Intercambios con la Docente</i>
1	Agregar ejemplos de FME ocurridos en Tandil, como: "La noche de los 100 tornados en 1993". Discutir la importancia de las acciones a tomar frente a la ocurrencia de FME.	Incorporar la introducción de la SEA sobre FME y ejemplos. Modificar actividad de discusión sobre conceptos físicos para no limitar respuestas solo a conceptos físicos.
2	Profundizar en el concepto de "predicción científica". Reformular la actividad de análisis estadístico descriptivo con datos meteorológicos.	Modificar el tiempo de discusión de las primeras lecturas. Incluir reformulación de actividad de análisis estadístico del registro de datos.
3	Modificar el ejemplo sobre modelos (modelo de los gases) porque los estudiantes no lo recuerdan de las clases de física.	Abordar ejemplos de modelos habituales en el nivel educativo, como modelo atómico. Realizar una periodización histórica de modelos atómicos. Utilizar el modelo de Bohr para discutir modelos matemáticos y físicos.
4	Profundizar en la importancia del registro de datos meteorológicos para pronósticos. Dedicar más tiempo a las ecuaciones en modelos meteorológicos. Discutir un video explicativo elaborado por una investigadora.	Ampliar la explicación sobre las ecuaciones utilizadas en modelos meteorológicos. Ejemplificar ecuaciones diferenciales y establecer relaciones con las ecuaciones escolares.
5	Dedicar más tiempo al video sobre "fenómenos meteorológicos: caóticos, complejos e inciertos", dividiéndolo en tres partes para discusión.	Dividir el video de "fenómenos meteorológicos: caóticos, complejos e inciertos" en tres partes para discusión.
<i>Cierre</i>	Modificar la guía para producciones finales para evitar respuestas reducidas a las preguntas sugeridas.	

VI. COMENTARIOS FINALES

En este trabajo hemos presentado los resultados obtenidos en una primera implementación de una SEA para FME en un curso de 6° año de la escuela secundaria tomando en consideración la información complementaria que se obtuvo a partir de la aplicación de un pretest y un postest, el análisis de rúbricas donde los estudiantes evaluaron las actividades de la SEA, las producciones audiovisuales de los estudiantes al finalizar la implementación, el diario de clases de las investigadoras y los intercambios con la docente que desarrolló la SEA.

Con respecto a la conceptualización epistemológica del alumnado sobre temas tan complejos como el papel de los modelos computacionales, a nivel del avance del conocimiento como en la capacidad para estimar escenarios posibles para la toma de decisiones, se considera que evolucionaron positivamente de acuerdo con los resultados del postest. Similares resultados se obtuvieron en las producciones audiovisuales realizadas por los estudiantes de los grupos 3, 4 y 5. Respecto a esta conceptualización, las investigadoras y la docente del curso acuerdan en que se debe profundizar en la reformulación de la SEA en los ejemplos de modelos para trabajar en el aula y discutir con mayor profundidad cómo se construyen los modelos meteorológicos que se utilizan para el estudio de FME. Por otra parte, en los

resultados obtenidos del postest se evidencia una mejor comprensión de la importancia de los datos históricos en la modelización y la necesidad de usar varios modelos en la elaboración de pronósticos del tiempo. En relación con los datos meteorológicos que forman parte del estado inicial de la atmósfera y se utilizan en el proceso de modelización meteorológica, los estudiantes realizaron un análisis estadístico de sus registros diarios obtenidos al comienzo de la implementación. Sin embargo, la actividad vinculada con dicho análisis se modificó en forma conjunta con la docente; tanto docente como investigadoras acordaron mantener esta modificación.

Es posible inferir, a partir de los resultados obtenidos en el postest, que los estudiantes lograron identificar la atmósfera como un sistema complejo y caótico en el cual la incertidumbre no se puede eliminar, pero se debe gestionar de la mejor manera posible. En relación con los conceptos de sistemas caóticos, complejos e inciertos que son inherentes a los FME, y en función de los resultados obtenidos de las rúbricas respecto del interés que le generaron lecturas al respecto (ni interés ni desinterés), las investigadoras y la docente tomaron la decisión de dividir el video que aborda estos temas para permitir profundizar en cada uno de estos conceptos. Los estudiantes fueron capaces de reconocer que la información brindada por los servicios meteorológicos permite tomar decisiones más allá de que los pronósticos sean inciertos y que no es posible acceder a la totalidad de los datos atmosféricos.

En la SEA para FME cuya implementación se analizó en este trabajo, intentamos mostrar cómo abordar un asunto sociocientífico que vincula escenarios sociales que son complejos, multivariados, inciertos e involucran varias disciplinas y aspectos económicos, sociales, políticos, filosóficos y ético, y que su abordaje demanda cambios en la educación científica tradicional y el diseño de escenarios educativos que contemplen nuevas formas de enseñar con el objetivo de formar desde la ciencia para el ejercicio de una ciudadanía crítica y responsable. A pesar de los diversos inconvenientes que surgieron en la implementación, propios del contexto, los resultados fueron alentadores y permitieron reelaborar la SEA que se está implementado en una nueva iteración en el momento de escribir este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece a la docente y a las autoridades de la Escuela Nacional Ernesto Sabato (UNICEN) la posibilidad de desarrollar la implementación de la SEA para FEM.

REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. [Tesis de doctorado]. Universitat Autònoma de Barcelona.

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

Allchin, D. (2013). *Teaching the nature of science. Perspectives and resources*. St. Paul, MN: SHiPS Education Press.

Amador Rodríguez, R. Y. y Adúriz-Bravo, A. (2017). Concepciones emergentes de naturaleza de la ciencia (NOS) para la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (extra), 3499-3504.

Arriasecq, I., Seoane, M. E., Greca, I.M. y Adúriz-Bravo, A. (En prensa). Extreme Weather Events: An Integrated Didactical Proposal to Discuss the Nature of Postnormal Science. En D. Ortega Sánchez (Coord.), *Transdisciplinarity in Citizenship Education: Challenges, Advances, and Research Proposals*. Dordrecht: Springer.

Dirección General de Cultura y Educación. Subsecretaría de Educación. (2010). *Diseño Curricular para la Educación Secundaria Ciclo Superior. ES4: Introducción a la Física. (1ra ed)*. La Plata: Dir. General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires.

Erduran, S. y Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualising the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories*. Dordrecht: Springer.

Funtowicz, S. y Ravetz, J. (2000). *La Ciencia posnormal. Ciencia con la Gente*. Barcelona: Icaria.

Guisasola Aranzabal, J., Ametller, J. y Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 18(1), 1801-1818. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/6621/6996>

Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla J. y Greca, I. M. (2023). *Ecología del Fuego: una herramienta para comprobar los conocimientos acerca de Naturaleza de STEM*. Presentado en 5ª Conferência Latinoamericana do International History, Philosophy and Science Teaching Group. Porto Alegre, Brasil.

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

Seoane, M. E., Greca, I., Arriasecq, I. y Adúriz-Bravo, A. (2022). ¿Qué elementos de naturaleza de la ciencia podría aprender nuestro alumnado con fenómenos meteorológicos extremos? [What elements of the nature of science could our students learn from extreme weather events?]. En A., Benarroch (Ed.), *30 International meetings of didactics of experimental sciences. Science education in an intercultural environment*. Melilla: Universidad de Granada.

Spradley, J. P. (2016). *Participant observation (2da ed.)*. Long Grove, IL: Waveland Press.