

Una secuencia fundamentada de enseñanza de la modelización matemática de enfermedades infecciosas

A rationale sequence for teaching mathematical modelling of infectious diseases

Paula Bergero¹, Daniela Sanabria², Liliana Lazo³ y Diego Petrucci⁴

¹Grupo de Física Computacional en Materia Condensada, Física Estadística y Sistemas Biológicos. Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, Universidad Nacional de la Plata y CONICET. 64 y Diagonal 114 (1900) La Plata, Buenos Aires. Argentina.

²Instituto Superior de Formación Docente N° 95 Av. 51 951 (1900) La Plata, Buenos Aires. Argentina.

³Universidad Provincial de Ezeiza. A. Storni 41, Barrio Uno (1802) Ezeiza, Buenos Aires. Argentina.

⁴Universidad Nacional de Hurlingham. Secretaría de investigación. Av. Vergara 2222 (B1688GEZ) Villa Tesei, Buenos Aires. Argentina.

*E-mail: paula_b@inifta.unlp.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta una secuencia de enseñanza del modelado matemático de enfermedades infecciosas destinado a cido superior del nivel secundario. Esta propuesta presenta la ciencia como una actividad, contribuyendo a la construcción de una imagen de ciencia epistemológicamente más cercana a la recomendada por especialistas. La propuesta ha sido planificada según una modalidad de enseñanza de taller, que le permite ser adaptada a diferentes contextos y es compatible con una concepción constructivista del aprendizaje.

Palabras clave: Taller; Constructivismo; Física como actividad; Actividad científica.

Abstract

This article presents a teaching sequence for teaching mathematical modelling of infectious diseases in upper secondary school grades. This proposal presents science as an activity, contributing to an image of science epistemologically closer to the one recommended by specialists. The proposal is compatible with a constructivist conception of learning - It has been planned in the frame of workshop modality, making it adaptable to different contexts.

Keywords: Workshop; Constructivism; Physics as activity; Scientific activity.

I. INTRODUCCIÓN

Hace tiempo que especialistas en educación en ciencias vienen proponiendo que la enseñanza de las ciencias naturales, entre las que se encuentra la física, no debe basarse exclusivamente en los resultados que la disciplina nos proporciona, sino que también es fundamental mostrarlas como una actividad (Adúriz-Bravo, 2008; Gil Pérez, 1986; Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002; Lederman, 2007; Petrucci, 2017). En este trabajo presentamos

una propuesta introductoria a la enseñanza de la modelización matemática de enfermedades infecciosas, la cual ha ganado gran exposición pública en el contexto de la pandemia de la covid-19.

A. Modelado

El concepto de modelo engloba multiplicidad de sentidos. En el ámbito de la física, un modelo matemático puede definirse como una representación interpretativa, deliberadamente idealizada o simplificada, de un fenómeno o una parte del mundo físico, que puede formalizarse matemáticamente. Hay dentro de la disciplina numerosos ejemplos, con diferentes niveles de complejidad: el modelo de partícula en cinemática, el modelo de ondas, el modelo atómico de Bohr, el modelo estándar que describe la estructura de la materia, entre otros.

Un modelo matemático de una enfermedad infecciosa es también una representación simplificada y parcial, que intenta describir la evolución temporal de la infección en una población, con el objetivo de explorar diferentes condiciones o escenarios. Consiste en un conjunto de relaciones entre las variables, que están asociadas a un paradigma matemático dado, y que, dadas las condiciones iniciales de la población, pueden resolverse para conocer el estado de la misma en cada instante. Cuando el modelo es sencillo (es decir, incorpora pocas variables), permite obtener algunos resultados de modo analítico, aunque en general se los resuelve numéricamente mediante computadoras. El proceso de modelado de una enfermedad suele ser interdisciplinar y no es único. Cada propuesta surge de la negociación entre conservar la simplicidad operacional y de interpretación versus la inclusión de todos los mecanismos y consideraciones que se crean necesarios para una descripción “realista” de la situación.

Uno de los modelos compartimentales más simples que pueden plantearse es el modelo SIR¹, sigla de susceptibles, infectados, recuperados/removidos, que son las categorías epidemiológicas en que se divide la población donde la infección se está propagando (figura 1). En esta representación es posible analizar el modelo a partir de su esquema de flujo, considerando que la población pasa de un estado a otro a unas dadas velocidades que llamamos aquí β y γ .

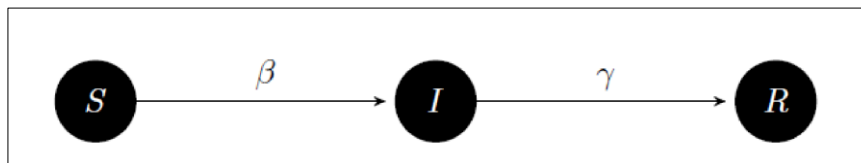


FIGURA 1. Esquema modelo SIR. La velocidad de tránsito de la clase S a la clase I es β . Usualmente, esta velocidad depende de la contagiosidad de la enfermedad y se asume proporcional a las fracciones de individuos en S y en I. Esto surge de pensar que la probabilidad que tiene un individuo susceptible de encontrarse con un infectado, siendo que suponemos que se encuentran “todos con todos”. La velocidad de recuperación γ (paso de I a R) es constante y queda determinada por la enfermedad a modelar: por ejemplo si lleva 2 semanas recuperarse de la infección, la tasa será $1/14$ en unidades [1/días].

Como mencionamos, tendremos que asociar a esta representación de la enfermedad un paradigma matemático, ya que este sistema puede resolverse (es decir, describir la evolución temporal) de diversos modos. El paradigma más empleado, determinista, plantea el sistema en términos de un conjunto de ecuaciones diferenciales (una por cada clase o compartimento) que deben resolverse simultáneamente para tener la evolución temporal. En esta representación, para cada estado inicial de las poblaciones tendremos una solución única. En cambio, si empleamos el paradigma estocástico, en el que los parámetros tienen una naturaleza aleatoria, cada resolución será diferente aún para las mismas condiciones iniciales y se requerirá un tratamiento estadístico.

Finalmente, diremos que el desarrollo de estos modelos es un trabajo fuertemente interdisciplinar y convergen profesionales de bioquímica, medicina, salud, matemáticas y otras áreas, entre las cuales la física tiene un rol principal. En cuanto a las herramientas, el área en que se enmarcan estos estudios es la física computacional.

B. Pasado y futuro del modelado de enfermedades infecciosas

El modelado matemático de enfermedades infecciosas se origina en el trabajo de Daniel Bernoulli, en 1760, en el cual propuso un modelo para la propagación de la viruela. Sin embargo, tuvo escaso desarrollo hasta que, a finales del siglo XX, Kermack y McKendrick plantearon el modelo SIR para modelar la propagación de la peste bubónica en Londres, originando la epidemiología matemática. Más adelante, el modelado volvió a crecer, de la mano de los avances computacionales que incrementaron las facilidades de cálculo.

¹ Videos sobre el Modelo SIR: Parte 1 [PREDICIENDO PANDEMIAS](#) (Parte 1: EXPLICANDO el modelo SIR), Parte 2 [PREDICIENDO PANDEMIAS](#) (Parte 2: SIMULANDO con una HOJA DE CÁLCULO)

El modelo SIR y el modelo SIS (en el que la enfermedad no genera inmunidad) han sido ampliamente estudiados y este formalismo se toma aún hoy como base para desarrollos posteriores. Los modelos pueden complejizarse agregando otros efectos y detalles de la enfermedad, que incluyen nuevas clases epidemiológicas, como individuos aislados o en cuarentena, hospitalizados, o con distintos grados de inmunidad/contagiosidad. También es posible incorporar la edad y otras características de los individuos, e incluso incluir estructuras sociales, de movilidad o de comportamiento.

La aparición de enfermedades como el ébola, el SARS y el MERS, ocasionó que los trabajos científicos que involucran modelos matemáticos –y por ende los grupos de investigación que los han incorporado como herramienta– hayan aumentado notablemente (Hasdeu, Lamfre, Caro y Horne, 2020). Esta evolución en la experticia permitió que tempranamente surgieran modelos de la covid-19. Estos modelos, aunque muy simplificados y con gran incerteza en los parámetros debido a la novedad, permitieron obtener gráficos de comportamiento de poblaciones que alertaron a las autoridades respecto de la necesidad de tomar medidas para reducir la propagación (Bergero y Guisoni, 2021; RITS, 2020; Tagliacucchi, Balenzuela, Travizano y Mindlin, 2020). Los resultados del modelado fueron tomados también tempranamente por los medios de comunicación. Para fines de enero de 2020, el Centro para el Análisis de Enfermedades Infecciosas del *Imperial College of London* en el Reino Unido, había generado tres informes, reportando los primeros resultados del modelado –basado en un desarrollo previo para SARS– y fueron tan contundentes que convencieron a las autoridades locales de implementar el confinamiento².

II. SECUENCIA DE ENSEÑANZA

La secuencia está diseñada para estudiantes del ciclo superior de la enseñanza secundaria. La presentamos segmentada por actividad, explicitando los propósitos docentes. Como toda propuesta de enseñanza, debe ser adaptada según las características de cada contexto, curso, grupo de estudiantes, estilo del docente, etc. En particular, la secuencia debe adaptarse a los tiempos de clase de cada curso, de modo que cada clase tenga un comienzo y un final apropiados. La propuesta fue diseñada de modo que resultase versátil. Respecto de su implementación, se proyecta llevarla adelante durante los primeros dos meses del ciclo lectivo 2022, en un curso de Física de quinto año de una escuela pública de la ciudad de La Plata.

A. Actividad 1. Relevamiento de las concepciones previas de los estudiantes

,: 1. Presentar el tema a los estudiantes. 2. Promover la activación cognitiva de concepciones relacionadas con el tema.

El docente pregunta a la clase mientras la recorre evitando mantenerse en el frente (de modo de dejar a los estudiantes en el centro de la escena): *Durante la pandemia provocada por la covid-19 en muchos medios de comunicación se hablaba de modelos matemáticos de epidemias. ¿Saben qué es eso? ¿Qué se imaginan que es un modelo matemático de una epidemia?* Se va anotando en el pizarrón una lluvia de ideas con las palabras que vayan surgiendo. El docente evitará emitir juicios de valor, oralmente y mediante gestos, debido a que se busca fomentar que se manifiesten genuinamente las ideas que les surjan. No hay respuestas esperadas.

Si no hay aportes, el docente puede tener preparada una selección de palabras claves escritas en tarjetas o cartulinas, algunas relacionadas al concepto en cuestión y otras que no. De esta manera los estudiantes pueden elegir según criterios propios. Por ejemplo, las claves pueden ser: ENFERMEDAD - VARIABLES MATEMÁTICAS - SINAPSIS - SUJETO Y PREDICADO - RECREO - REPRESENTACIÓN - AUTOPISTA - POBLACIÓN AFECTADA - PERFUMERÍA - EVOLUCIÓN TEMPORAL - PROCESAMIENTO DE RESULTADOS - MODELO DE AUTOMÓVIL.

B. Actividad 2. Introducción del tema

Propósitos: 1. Presentar el tema a los estudiantes. 2. Relacionar el tema a tratar con contenidos previos.

² Primer Reporte del *Imperial College*: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/2019-nCoV-outbreak-report-17-01-2020.pdf>

Segundo Reporte del *Imperial College*: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/2019-nCoV-outbreak-report-22-01-2020.pdf>

Tercer Reporte del *Imperial College*: <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/news--wuhan-coronavirus/>

Coronavirus: qué dice el modelo matemático del Imperial College de Londres que cambió la estrategia de Reino Unido frente al covid-19. BBC News Mundo, 17 de marzo de 2020. Recuperado de [Qué dice el modelo matemático que cambió drásticamente la estrategia de Reino Unido frente a la pandemia del coronavirus](https://www.bbc.com/mundo/noticias-salud-56181111)

El docente presenta a la clase el tema a tratar, por ejemplo:

En las ciencias naturales y en materias como en Físico-Química utilizamos MODELOS para estudiar y comprender fenómenos que nos interesan. Con este objetivo construimos representaciones simplificadas que nos ayudan a encontrar respuestas a nuestras preguntas. ¿Recuerdan qué modelos vimos?

Los estudiantes podrían responder: “Los modelos atómicos, la célula animal y vegetal”, etc. El docente valora los aportes y presenta la consigna:

En clases/cursos previos hemos usado plastilina, pintamos esferas de telgopor, construimos maquetas, entre otras actividades, para representar diferentes modelos utilizados en las ciencias naturales. Hoy vamos a modelizar epidemias para representar la evolución de una enfermedad en una población, y para eso les invito a pensar las reglas de un conocido juego: LA MANCHA.

C. Actividad 3. En grupos, redacción de un reglamento para el juego de la mancha

Propósitos: 1. Introducir a los estudiantes en la tarea de explicitar en lenguaje escrito las reglas implícitas de un juego. 2. Proponer una actividad motivadora para generar una predisposición positiva hacia el tema.

Consigna:

Todos hemos jugado a la mancha alguna vez. Sabemos cómo se juega. Vamos a suponer que hemos sido contratados por un importante portal de Internet para que escribamos el reglamento de la mancha. Formen grupos de 4 o 5. Cada grupo debe redactar un posible reglamento.

D. Actividad 4: Elaboración de una comunicación

Propósito: 1. Fomentar el trabajo colaborativo en grupos. 2. Ejercitar las capacidades de comunicación de resultados.

El docente repartirá a los grupos papel afiche y fibrones de colores. Cada grupo deberá debatir y elegir cómo comunicar en un afiche su producción.

E. Actividad 5: Puesta en común y síntesis

Propósitos: 1. Socializar las producciones de los grupos y sus procesos de elaboración. 2. Fomentar las capacidades de comunicación de la producción de los grupos, emulando lo que ocurre en encuentros científicos. 3. Fomentar el espíritu crítico y estimular la capacidad de argumentación. 4. Evidenciar que todas las propuestas tienen ventajas y dificultades y que la colaboración posibilita un resultado superador.

Se cuelgan los afiches a la vista, como si fuera un congreso científico, cada grupo explica su afiche y cuenta al resto de la clase su producción y el proceso seguido. Luego, en ronda general los estudiantes debaten sobre cuáles formulaciones resultan apropiadas y cuáles presentan dificultades. El docente coordina, buscando llegar a un reglamento consensuado, que tome aportes de todos los grupos. Un estudiante va anotando en el pizarrón las reglas construidas para crear el reglamento del juego de la mancha. Se espera llegar a un texto como por ejemplo:

cuando el juego comienza, un individuo es ‘mancha’ mientras que todos los demás pueden ser ‘manchados’. Cuando la persona mancha toca a alguien no-manchado, se intercambian roles. Mancha y no-manchados comparten el espacio y todos pueden estar en contacto con todos.

F. Actividad 6: Modelización

Propósitos: 1. Utilizar el algoritmo del reglamento para la construcción de un modelo de propagación de enfermedad infecciosa. 2. Identificar las variables del problema por analogía. 3. Consensuar un lenguaje apropiado.

a. Se organiza la tarea en grupos, con la consigna de modificar las reglas de la mancha para transformarla en “mancha contagiosa”, en el que luego de un tiempo las personas tocadas a su vez pueden contagiar. Incluir la condición de finalización del juego (cuando no quedan personas sin manchar).

b. Se propone una nueva consigna: modificar el juego de la mancha contagiosa para volverlo más parecido a una enfermedad en particular, por ejemplo covid-19 o gripe. Según la enfermedad, habrá que agregar personas inmunes (tuvieron la enfermedad, ya no contagian y no pueden volver a contagiarse), individuos expuestos (quienes tienen la infección pero aún no contagian) y pérdida de inmunidad. Puede ser útil construir un glosario de términos en un papel afiche pegado en una pared: mancha/persona contagiosa, no-mancha/persona susceptible de infectarse, correr o caminar/velocidad de propagación, tiempo que dura la mancha/tiempo de recuperación, etc.

c. Las producciones de los grupos se leen en “cascada” (técnica de presentación de producciones grupales en la que cada grupo agrega diferencias o novedades respecto a lo que han comentado grupos anteriores, evitando repeticiones) y entre todos consensuan el reglamento. Una regla como por ejemplo “La ‘mancha’ circula entre los susceptibles y a medida que los encuentra los toca y los va contagiando” implica ir desarrollando un vocabulario apropiado.

G. Actividad 7. La mancha contagiosa y la vacuna

Propósito: Aumentar la complejidad de la modelización.

El docente propone, en ronda general, escribir el reglamento de la mancha contagiosa con vacuna. A medida que el vacunador se encuentra con susceptibles e infectados, los toca y los “inmuniza” por lo que ya no pueden contagiarse.

H. Actividad 8. Jugar poniendo en práctica el reglamento o “experimentar”

Propósito: Que los estudiantes exploren situaciones para evaluar el funcionamiento del reglamento.

Se pone en práctica el reglamento en un espacio apropiado con la consigna de caminar, sin correr, inicialmente con un infectado y susceptibles y luego con un infectado, un vacunador y susceptibles. En cada caso, un estudiante con el rol de observador va mirando cómo evolucionan las poblaciones de infectados y vacunados, hace anotaciones y mide los tiempos. En la puesta en práctica, los estudiantes podrán consensuar usar pañuelos o cintas de colores en cuellos o muñecas que evidencien sus roles y sirvan para identificar el estado: infectados, susceptibles, inmunizados, vacunadores, etc. Los pañuelos o cintas irán cambiándose en la medida que la infección o la vacuna circulen en la población.

I. Actividad 9. Análisis de los resultados

Propósitos: 1. Fomentar el análisis crítico de datos y resultados. 2. Mostrar cómo los análisis de datos permiten la elaboración de nuevas preguntas. 3. Evidenciar las limitaciones del modelado (por omisión o excesiva simplificación del fenómeno).

El observador relata los datos recabados. Es posible que vayan surgiendo diferentes preguntas (o las puede proponer el docente), por ej.: “¿Qué pasa si la enfermedad dura más? ¿Qué pasa si reducimos la cantidad de susceptibles? ¿Qué pasa si evitamos cruzarnos? ¿Y si agrandamos el espacio donde se juega, permitiendo más distanciamiento?” Alcanzado un nivel de análisis satisfactorio y a medida que se logra una dinámica de trabajo apropiada, se puede ir aumentando la complejidad de las preguntas para explorar las limitaciones del modelo: “¿Es realista la condición de que todos “se ven” con todos? ¿Qué cambiará si formamos “burbujas”? Además de la estructura social de los contactos entre personas, ¿qué otras cosas no estamos considerando en el modelo original?”

J. Actividad 10. Cierre

Propósitos: 1. Proponer conexiones entre un juego con reglamento y una simulación de una epidemia. 2. Evidenciar que los términos que se han consensuado (susceptible, infectado, vacunado, etc.) forman parte del vocabulario teórico del área a estudiar. 3. Mostrar que el modelado no es único y siempre es parcial.

Se puede recurrir a dos estrategias (en función de la cantidad de estudiantes, las características del curso, el tiempo disponible, etc.) a partir de la consigna: *Identificar los aspectos del juego similares a una epidemia y los aspectos en que se diferencian, mostrando las limitaciones del modelo:*

Estrategia I:

- a. Reflexión individual anotando las conclusiones.
- b. Elaboración en grupo a partir de los aportes individuales.
- c. Puesta en común y debate.

Estrategia II: Una actividad en ronda general coordinada por el docente.

K. Actividad 11. Evaluación sumativa

Propósito: Agregar información mediante la evaluación permanente para valorar los desempeños individuales, grupales, del docente y de la propuesta.

- a. “Desfiles de modelos”: a cada grupo de estudiantes se le asigna una enfermedad. Consigna: *Buscar información y proponer un esquema y un modelo sencillo (o reglamento) que incluya los tiempos característicos, la existencia o no de inmunidad, etc.* Por ejemplo: resfrío común, sarampión, varicela.
- b. Confección de un póster describiendo la tarea desarrollada y los resultados obtenidos.
- c. Presentación de las producciones en simulacro de congreso.

L. Posibles continuaciones de la secuencia

La secuencia puede seguir de diversas maneras, según el nivel educativo, los conocimientos previos, las características del curso y del docente, etc. Algunas actividades sugeridas son:

1. Lectura de la historia del modelado matemático de enfermedades (Fresnadillo-Martínez, García-Sánchez, García-Merino, Rey, y García-Sánchez, 2013; Lazo, 2019). Reflexionar y debatir: ¿Por qué las mujeres están ausentes en la historia?
2. Análisis, en ronda general con guía del docente, de un ejemplo de construcción de modelos de covid-19 a partir del modelo SIR. Incluye natalidad/mortalidad/latencia/pérdida de inmunidad/asintomáticos (figura 2).

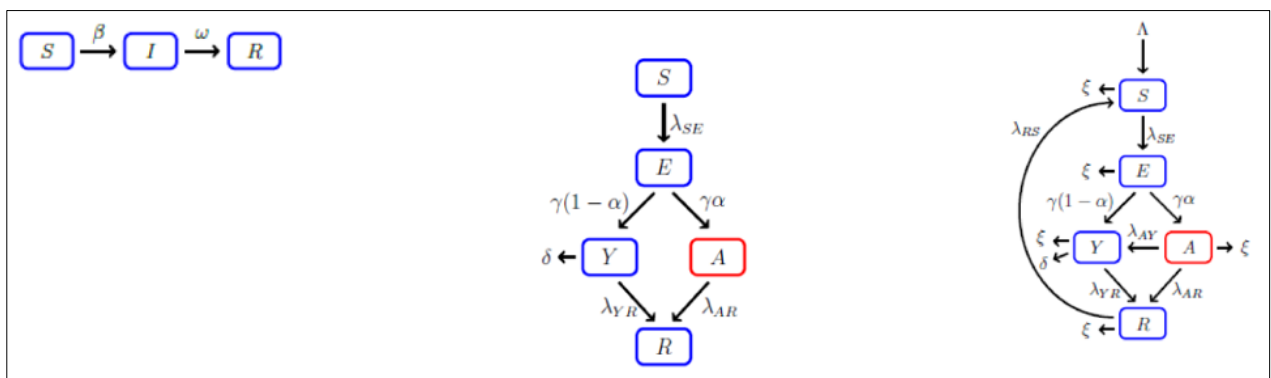


FIGURA 2: A la izquierda se presenta el modelo SIR. El modelo del centro incluye la clase de expuestos E con el período de latencia regulado por λ_{SE} , y subdivide la clase de infectados para distinguir infectados sintomáticos Y de asintomáticos A, que se reparten en una proporción α . En el gráfico de la derecha se contemplan además la pérdida de inmunidad λ_{RS} , la natalidad Λ , la mortalidad demográfica ζ y la mortalidad por covid-19 en la clase de sintomáticos δ (Aguilar, Faust, Westafer y Gutierrez, 2020).

3. Explorar modelos con aplicaciones en línea. La aplicación desarrollada por la Universidad Nacional de Tierra del Fuego y la Universidad Tecnológica Nacional permite llevar adelante simulaciones estocásticas en distintos contextos (comunidad aislada, interconectada y con puntos de interés) y condiciones (cumplimiento de aislamiento, reacción del sistema de salud, proporción de asintomáticos, etc.), visualizando las poblaciones de interés en función del tiempo. Disponible en: [Simulación de una Epidemia](#)
4. Armar un mapa de Argentina ubicando geográficamente grupos de investigación que se dedican al modelado de enfermedades infecciosas. Analizar: ¿Cómo es la composición por género de esos grupos?
5. Lectura y debate de una nota de prensa que mencione los modelos. Por ejemplo: [Sobre curvas y decisiones: el rol de los modelos matemáticos durante la pandemia de covid-19 – Revista Soberanía Sanitaria](#)

III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A continuación se analizará la propuesta desde diferentes enfoques teóricos: la enseñanza, el aprendizaje, la disciplina y la epistemología.

Desde la perspectiva de la enseñanza, la propuesta se enmarca en una modalidad taller (Ander Egg, 1999; Petrucci, 2009) entendiéndola como “un lugar donde se trabaja, se elabora y se transforma algo, para ser utilizado” (Ander Egg, 1999: 14). En esta visión, se aprende haciendo, se integra teoría y práctica y el trabajo se centra en las preguntas. Es participativa, cooperativa, e involucra trabajo grupal. El vínculo docente-alumno se establece en torno a la tarea y finalmente, integra docencia, investigación y práctica (Ander Egg, 1999).

La propuesta reúne aspectos de la pedagogía para la liberación (Freire, 1970; Puiggrós, José y Balduzzi, 1988). En ese sentido, fomenta el desarrollo de la reflexión y espíritu crítico de los estudiantes, aspectos que tienden a promover

la emancipación. Otras características son la horizontalidad en la relación docente-alumno y la centralidad de la praxis en la acción educativa.

La modalidad taller y la pedagogía para la liberación suponen una concepción constructivista del aprendizaje (Ander Egg, 2008), aunque la vinculación entre las concepciones constructivistas de aprendizaje y las propuestas educativas compatibles con ellas resulta controvertida (Carretero, Castorina, Baquero, 1998). Desde la perspectiva del aprendizaje, la propuesta es constructivista (Carretero, 1993; Pozo y Gómez Crespo, 1998) debido a que una enseñanza de tipo taller implica que los estudiantes construyan los nuevos conocimientos -Bruner- a partir de la actividad cognitiva -Piaget-, relacionándolos de modo no arbitrario con lo que ya saben -Ausubel-, en interacción con sus pares -Vigotsky-.

Desde la perspectiva disciplinar, puede resultar llamativo que el modelado matemático de enfermedades infecciosas sea un área de investigación en la cual la física tenga un rol central. Puede aventurarse que este espacio lo han ocupado físicos debido a que su formación incluye la capacidad de modelar sistemas complejos, dominio de matemática y de programación.

Desde la perspectiva epistemológica, la ciencia es concebida como una actividad, un emprendimiento cultural con origen en Europa y raíces en la Antigua Grecia. En esta concepción, enseñar ciencias naturales no es sólo enseñar contenidos, sino también enseñar *sobre* las ciencias naturales. Siguiendo la propuesta de Lederman (2007) nos planteamos que los estudiantes alcancen los siguientes objetivos:

- Comprender que el conocimiento científico -si bien se basa al menos parcialmente en observaciones del mundo natural- involucra imaginación y creatividad humana.
- Entender que el conocimiento científico tiene carga teórica y que es subjetivo.
- Concebir la ciencia como un emprendimiento humano practicado en el marco de una cultura más amplia, y a sus practicantes como un producto de esa cultura.
- Reconocer la existencia de muchas explicaciones posibles para explicar un fenómeno particular del mundo natural.

Los compromisos teóricos de los científicos, sus creencias, sus saberes y sus expectativas, influyen en su trabajo, es decir que la subjetividad se manifiesta en la producción de conocimiento. La propuesta además contribuye a la concepción de que la ciencia afecta y es afectada por el tejido social, las estructuras de poder, la política, los factores socioeconómicos, la filosofía, la religión, entre otros. Por ejemplo, la ciencia está atravesada por cuestiones de género, que se manifiestan en la invisibilización de los aportes de las mujeres y su subrepresentación en los espacios de poder y también en la imagen androcéntrica de la ciencia.

Finalmente, con este trabajo esperamos realizar una contribución a la actualización de los docentes de física de nuestro país en una temática que aborda la actividad en la física y la pandemia de covid-19.

REFERENCIAS

Aguilar, J. B., Faust, J. S., Westafer, L. M. y Gutierrez, J. B. (2020). A Model Describing covid-19 Community Transmission Taking into Account Asymptomatic Carriers and Risk Mitigation. *medRxiv, The preprint server for health sciences*.

Adúriz-Bravo, A. (2008). ¿Existirá el “método científico”?, en Galagovsky, L. (Ed). *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?* Buenos Aires: Biblos, 47-59.

Ander Egg, E. (1999). *El taller: una alternativa de renovación pedagógica*. Buenos Aires: Magisterio del Río de la Plata.

Ander Egg, E. (2008). *La planificación educativa. Conceptos, métodos, estrategias y técnicas para educadores*. Buenos Aires: Magisterio del Río de la Plata.

Bergero, P. y Guisoni, N. (2021). Modelo matemático de coinfección de dengue y covid-19: una primera aproximación. *Revista Argentina de Salud Pública, suplemento covid-19*, 13. Recuperado de Modelo matemático de coinfección del Dengue y covid-19 una primera aproximación.

Carretero, M. (1993). *Constructivismo y Educación*. Buenos Aires: Aique.

Carretero, M., Castorina, J. A. y Baquero, R. (Comp.) (1998). *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.

Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.

Fresnadillo-Martínez, M. J. García-Sánchez, E. García-Merino, E. Rey, Á. M. y García-Sánchez, J. E. (2013). Modelización matemática de la propagación de enfermedades infecciosas: de dónde venimos y hacia dónde vamos. *Revista Española de Quimioterapia*, 26, 81-91.

Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.

Gil Pérez, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias : unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las ciencias*, 4(2), 111-112.

Hasdeu, S. Lamfre, L. Caro, P. y Horne, F. (2020). Revisión narrativa: modelos predictivos sobre la evolución de la pandemia por covid-19, 12. *Revista Argentina de Salud Pública, Suplemento covid-19*. Recuperado de <https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasprticle/view/74>.

Lazo, L. I. (2019). Caracterización del estado de inmunización con vacuna celular pentavalente de la población infantil de Ezeiza. Evaluación de potenciales mejoras de la administración vacunal en la incidencia de Pertussis mediante un modelo físico-matemático. Tesis de Maestría en Física Médica. *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de TesisFM_LilianaInésLazo.pdf.

Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. (Eds), *Handbook of Research on Science Education* (831-879). New Jersey: LEA.

Petrucci, D. (2009). El Taller de Enseñanza de Física de la UNLP como innovación: diseño, desarrollo y evaluación. Tesis doctoral. Universidad de Granada, España. Recuperado de Tesis TEF8.

Petrucci, D. (2017). Visiones y actitudes hacia las Ciencias naturales: consecuencias para la enseñanza. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*. 12(1), 29-42.

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, España: Morata.

Puiggrós, A., José, S. y Balduzzi, J. (1988). *Hacia una pedagogía de la imaginación para América Latina*. Buenos Aires: Contrapunto.

RITS. Red de Investigación Traslacional en Salud. Modelización de Enfermedades Infecciosas. CONICET. Informe Técnico 1. Recuperado de Modelización de enfermedades infecciosas | RITS.

Tagliazucchi, E. Balenzuela, P. Travizano, M. Mindlin, G.B., Mininni, P.D. (2020). Lessons from being challenged by covid-19. *Chaos, solitons and fractals*, 137.