

Simulación de una enfermedad infecciosa, prácticas virtuales en tiempos de crisis con apoyo de Tecnología

Luis E. Montero-Moguel
Verónica Vargas-Alejo
Universidad de Guadalajara

Resumen: *En este artículo se reportan resultados de un estudio cuyo objetivo fue propiciar la comprensión de la propagación de una enfermedad como COVID-19, mediante el entendimiento de gráficas asociadas a la simulación con NetLogo. La investigación fue de tipo cualitativo. La población de estudio fueron estudiantes universitarios de primer semestre de licenciatura. El marco conceptual se fundamenta en la perspectiva de modelos y modelación. Se discute cómo el uso de NetLogo y Microsoft Teams apoyaron la interpretación, descripción, explicación y predicción de la diseminación de una enfermedad infecciosa, y el entendimiento de gráficas asociadas a la simulación del fenómeno.*

Palabras clave: *Propagación de una enfermedad infecciosa, NetLogo, Microsoft Teams, Gráficas.*

Simulation of an infectious disease, virtual practices in times of pandemic with support of technology

This article reports the results of a study whose objective was to promote the understanding of the spread of a disease such as COVID-19, through the understanding of graphs associated with the simulation with NetLogo. The research was qualitative. The study population were first-semester undergraduate university students. The conceptual framework is based on the models and modeling perspective. It is discussed how the use of NetLogo and Microsoft Teams supported the interpretation, description, explanation and prediction of the spread of an infectious disease, and the understanding of graphics associated with the simulation of the phenomenon.

Key Word: *Spread of an infectious disease, NetLogo, Microsoft Teams, Graphics.*

1. INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en una época sin precedentes en México y, en general, en todo el mundo. La educación, en todos los niveles, ha migrado de ambientes presenciales hacia ambientes virtuales (Juárez-Pineda, 2020; <https://learningrevolution.com>). La tecnología como las computadoras de escritorio, laptops, los teléfonos celulares y las tablets son el medio de comunicación entre profesores y estudiantes, quienes a través de diversos medios como Google Classroom, Moodle, Blackboard, Discord, Microsoft Teams, Google Meet, Zoom y Skype, hacen todo lo posible para dar continuidad a la educación tanto en modalidad sincrónica como asincrónica (Badillo, 2020). Varias interrogantes han surgido, entre ellas: ¿qué es lo prioritario que los estudiantes deberían conocer y aprender en estos momentos? (Hernández-Navarro, 2020), ¿deberíamos reorientar los objetivos de la educación? (Álvarez-Mendiola, 2020).

Las preguntas tienen sentido, en tanto que en el país y en varias partes del mundo se ha enfrentado la propagación de enfermedades como el VIH, H1N1 y Dengue. A pesar de que las epidemias no son nuevas y han sido frecuentes en esta era de globalización, debido a la gran facilidad de los individuos para viajar de un lugar del mundo a otro (Saldaña, 2018), incluso, aún cuando circula una gran cantidad de información en redes sociales y periódicos (Rodríguez-Calva, 2020; World Health Organization, 2020), se observa que no ha sido claro el fenómeno de diseminación de una enfermedad por los ciudadanos (Ortiz, Miranda, Espino y Rodríguez, 2020). Las preguntas que emergen naturalmente son: ¿se han utilizado estos fenómenos en el salón de clases para aprender y para concientizar a los ciudadanos?, ¿Se ha preparado a los estudiantes para que puedan responder a la situación que están viviendo?, ¿en qué momento debieron los estudiantes aprender las bases matemáticas para entender el comportamiento de fenómenos como la diseminación de una enfermedad?

Es necesario tener propuestas educativas para todos los niveles educativos que posibiliten la formación de los ciudadanos. Se requiere prepararlos para enfrentar con conocimiento situaciones de crisis política, económica y de salud como la que enfrentamos actualmente; de tal manera que puedan tomar decisiones adecuadas en beneficio propio y de la sociedad en la que viven. Se necesita formar individuos para la vida y para el trabajo sobre bases incluyentes y solidarias. Se requiere preparar a los individuos para interpretar, describir, predecir y tener control de situaciones del entorno diario (Lesh, 2010), para que las personas actúen con responsabilidad ante los fenómenos que impactan a la sociedad. ¿Se puede hacer algo al respecto en sesiones virtuales de matemáticas?

En este artículo se responde la pregunta ¿Cómo pueden NetLogo y Microsoft Teams apoyar el entendimiento de la diseminación de una enfermedad? ¿Cómo puede fomentar la comprensión de las gráficas asociadas a la propagación de una enfermedad? Se describen resultados de una investigación que se implementó en México de manera virtual, sincrónica. El objetivo del estudio fue apoyar la comprensión por estudiantes de nivel universitario sobre función, variación y crecimiento exponencial. Las aportaciones de la Perspectiva de Modelos y Modelación (se describe en la siguiente sección) [PMM] se utilizaron para diseñar e implementar la secuencia de actividades. Por cuestiones de espacio sólo se describen los resultados obtenidos al implementar una de las actividades [MXA] que se utilizó: Diseminación de enfermedades (<https://ccl.northwestern.edu/>

netlogo/) de NetLogo. Ello permitió que los estudiantes analizaran de manera dinámica el fenómeno y dieran más sentido a las representaciones gráficas, medio actual de información sobre la situación de propagación del COVID-19 en diversos noticieros nacionales (Secretaría de Salud, 2020).

2. MARCO CONCEPTUAL

Una mirada a nuestro alrededor es suficiente para detectar que están sucediendo varios fenómenos políticos, económicos y del medio ambiente cuya constante es el cambio: el crecimiento de los organismos y las poblaciones (Steen, 2003). Debido a que nuestro entorno está cambiando, es importante que ayudemos a los estudiantes a aprender a interpretar, describir y predecir fenómenos del mundo (Lesh, 2010). Ello les permitirá entender y colaborar con acciones o comportamientos ante fenómenos como el brote de enfermedades, el cambio climático, la desaparición de especies, la pobreza, la migración humana y muchos otros temas prioritarios como los que se enuncian en la agenda 2030 (<http://www.onu.org.mx/agenda-2030/>).

La educación matemática, incluso desde edades tempranas, debe ir más allá de sólo promover la memorización de definiciones, y la mecanización de algoritmos (Kaput, 1999; Stroup, 2005). Los estudiantes deben tener oportunidades para desarrollar conocimiento y, además, la flexibilidad para utilizarlo para interpretar, describir y predecir situaciones-problema. Se requiere que los estudiantes aprendan a descubrir patrones de cambio, representarlos, comprender diferentes tipos de cambio, reconocerlos cuando ocurren, tener habilidades para identificarlos en su entorno y aprender a predecir y controlarlos en beneficio de ellos mismos y la humanidad (Steen, 2003). Además, es necesario que aprendan a elaborar conjeturas, comunicarlas y evaluarlas.

Variación y función son conceptos fundamentales de la matemática del cambio (Steen, 2003). En varios estudios se ha encontrado que existen dificultades para aprender conceptos como función, aún en el nivel universitario (Årlebäck y Doerr, 2018). El entendimiento de las gráficas asociadas al comportamiento de distintos fenómenos es complicado para los estudiantes (Thompson y Carlson, 2017), por la dificultad de entender la variación y la covariación entre las variables, lo cual se observa cuando tienen que interpretar información dada en tablas de datos, gráficas y representaciones algebraicas. En esta investigación se toma a la PMM dentro del marco conceptual (Lesh y Doerr, 2003^a).

2.1. La Perspectiva de Modelos y Modelación [PMM]

La PMM (Doerr, 2016; Lesh y Doerr, 2003a; Lesh, 2010) señala que aprender matemáticas involucra la construcción de modelos; es un proceso de desarrollo de sistemas conceptuales, que se modifican de manera continua, extienden y refinan a partir de las interacciones del estudiante con su entorno y al resolver problemas.

Los modelos son sistemas conceptuales (que consisten en elementos, relaciones, operaciones y reglas que gobiernan las interacciones) que se expresan mediante sistemas de notación

externa, y se usan para construir, describir o explicar los comportamientos de otros sistemas – Quizás de tal forma que otro sistema pueda ser manipulado o predicho de manera inteligente.

Un modelo matemático se enfoca en las características estructurales (más que por ejemplo, en características físicas o musicales) de sistemas relevantes. (Lesh y Doerr, 2003a, p. 10)

Los modelos y constructos relevantes “se desarrollan a lo largo de dimensiones tales como de lo concreto-a-lo abstracto, de lo particular-a-lo general, de lo situado-a-lo descontextualizado, de lo intuitivo-a-lo analítico-a-lo axiomático, de lo indiferenciado-a-lo refinado, y de lo fragmentado-a-lo integrado” (Lesh y Doerr, 2003a, p. 32). Los modelos más útiles no siempre son los más abstractos, generales, descontextualizados, formales o complejos. “La evolución [del conocimiento] involucra diferenciación, integración y refinamiento de sistemas inestables. Involucra discontinuidades y reorganizaciones conceptuales -los estudiantes van más allá de pensar con el modelo a pensar en éste” (Lesh y Doerr, 2003a, p. 32).

Los modelos pueden ser internos (sistemas conceptuales) y externos (representaciones). Como mencionan Lesh y Doerr (2003b) en la PMM, debido a que se “pone énfasis tanto en los sistemas conceptuales internos como en los medios externos en los cuales éstos se expresan, se enfatiza (por ejemplo) en el papel del desarrollo del lenguaje, y la creciente fluidez representacional” (p. 540).

El conocimiento, por lo tanto, se considera como un sistema complejo y dinámico, que se autorregula y está en constante adaptación. Las interpretaciones iniciales de los fenómenos tienden a ser burdas comparadas con las interpretaciones finales. (Lesh y Doerr, 2003a).

El aprendizaje es social, emerge de comunidades de aprendizaje; es el resultado de construcciones humanas mediante procesos que implican fases de diferenciación, integración y refinamiento. La PMM (Doerr, 2016) sugiere posibilitar la construcción, comunicación y reutilización de formas de pensar en el aula. Propone para ello, el uso de secuencias de desarrollo de modelos que se estructuren con Actividades provocadoras de Modelos [MEA por sus siglas en inglés: Models eliciting activity], Actividades exploradoras de Modelos [MXA por sus siglas en inglés Models Exploration Activity] y Actividades de Adaptación de Modelos [MAA por sus siglas en inglés Models Adaptation Activity]. Cada actividad propicia que los estudiantes desarrollen “múltiples ciclos de descripciones, interpretaciones, conjeturas y explicaciones que son revisadas y refinadas mientras trabajan con otros estudiantes” (Doerr, 2016, p. 200). Es decir, los modelos que construyen los estudiantes, gradualmente se modifican, extienden y refinan.

Las MXA son actividades que se enfocan en la estructura matemática subyacente de las MEAs. Dado que se implementan después de las actividades provocadoras de modelos, su diseño puede incluir representaciones y actividades interactivas que permitan a los estudiantes profundizar en los sistemas de representación y lenguaje relacionados con los modelos que emergieron al realizar la MEA. La interacción entre los alumnos y el docente se centra “en las fortalezas de varias representaciones, las relaciones entre representaciones, las similitudes y diferencias estructurales entre representaciones y en formas de usar las representaciones productivamente” (Ärlebäck, Doerr y O’Neil, 2013, p. 317). Tienen como objetivo estudiar la naturaleza de los niveles y los tipos de

comprensión que los estudiantes aún deben desarrollar después de haber completado las MEA (Lesh et al., 2003 y Lesh, 2010).

Las estructuras de las MXA “a menudo incluyen gráficos por computadora, diagramas o animaciones” (Lesh y Doerr, 2003a, p. 46). Ello puede apoyar una mejor comprensión del crecimiento exponencial (Doerr, 2006). La tecnología en la educación matemática tiene un papel fundamental, por su carácter dinámico. En particular, los sistemas de simulación y modelación permiten a los alumnos abstraer y reproducir la experiencia de un fenómeno y tener la oportunidad de explicar y describir las relaciones de los comportamientos inmersos en la simulación (Schwartz, 2007). Son “simplificaciones e idealizaciones que intentan capturar las características esenciales de esos aspectos del mundo físico y social que describen” (Schwartz, 2007, p. 161). Dentro de los softwares que permiten que los alumnos reproduzcan el comportamiento de un fenómeno está el entorno de modelación programable multi-agente NetLogo.

2.2. La Tecnología

NetLogo es un ambiente de *modelación programable multi-agente*, de libre acceso (Tisue y Wilensky, 2004). NetLogo permite la exploración del comportamiento de fenómenos naturales y sociales, mediante la *simulación individual* (para un jugador: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/DiseaseSolo>) y la *simulación participativa* (para un grupo de jugadores: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/DiseaseHubNet>). Los estudiantes pueden observar la construcción de gráficas y, de manera simultánea, el comportamiento del fenómeno simulado. En este artículo se utiliza para crear una MXA, la cual se implementó posterior a una MEA. La característica programable de NetLogo permite construir y adaptar los modelos de la biblioteca. En esta investigación se adaptó el modelo “Disease Solo” para crear un modelo propio que se denominó “Diseminación de una enfermedad en el área metropolitana de Guadalajara [DG]” (Figura 1).

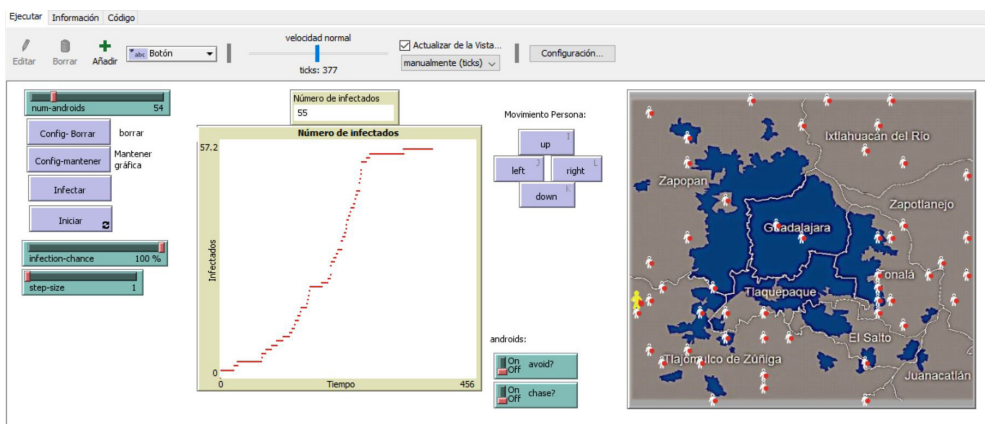


Figura 1. Entorno de la actividad: DG

Microsoft Teams por su parte es un espacio de trabajo en Office 365, diseñado para la colaboración y comunicación entre grupos de trabajo. Permite generar reuniones, mantener videoconferencias privadas o grupales, almacenar y compartir archivos y acceder a Word, Excel y PowerPoint. Este espacio puede utilizarse para propiciar procesos de aprendizaje en el aula; su acceso es libre para estudiantes y profesores de instituciones educativas registradas en Microsoft. En este espacio de trabajo, es posible conectar a varios estudiantes de manera sincrónica y asincrónica. Pero, como toda plataforma el uso que puede hacerse de la misma depende de varios aspectos, entre ellos la concepción del docente sobre aprender matemáticas.

Las recomendaciones para el uso de la tecnología en educación virtual son diversas, por ejemplo, se sugiere la organización de sesiones de una hora y media máximo; la incorporación de videos de uno a tres minutos, apoyados de preguntas abiertas o de opción múltiple, que el estudiante deba contestar; el uso de actividades interactivas, donde se defina el tipo de participación que se espera de los estudiantes (<https://learningrevolution.com>). Importa la flexibilidad, la inclusión, pero sobre todo la interacción continua entre estudiantes y profesor. Los contenidos deben estar organizados de tal manera que el estudiante pueda avanzar de acuerdo con su ritmo, la interacción con sus pares y el maestro.

El estudio que se describe en este artículo se desarrolló en la plataforma Microsoft Teams. Las aportaciones de la PMM se utilizaron para diseñar e implementar la secuencia de actividades MEA-MXA-MAA. Se describen los resultados obtenidos al implementar la MXA, con la cual se apoyó la comprensión por los estudiantes del fenómeno de propagación de enfermedades infecciosas y conceptos matemáticos como variación al hacer uso de NetLogo.

3. METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo cualitativa. Se realizó con un grupo de 18 alumnos del primer semestre de la licenciatura en administración de empresas (los denominaremos E_i), quienes estaban cursando la materia de matemáticas aplicadas a los negocios. Sus edades variaban entre 18 y 40 años. Forman parte de un programa de licenciatura dirigido a estudiantes adultos-trabajadores. Los estudiantes habían resuelto una MEA sobre crecimiento de bacterias en ambiente sincrónico. Habían desarrollado modelos que incluían tablas y gráficas de funciones lineales y exponenciales para describir la situación.

3.1. Actividad

La actividad MXA es parte de una secuencia de actividades (MEA, MXA, MAA) diseñada con base en las sugerencias de Lesh, Cramer, Doerr, Post, y Zawojewski (2003) y Doerr (2016). Consiste en la actividad *DG* (Figura 1) y hojas de trabajo que se utilizaron con los estudiantes para promover el entendimiento del crecimiento exponencial, asociado a la simulación de la propagación de una enfermedad.

La actividad consiste en simular una población compuesta por agentes (controlados por el software) y un individuo (controlado por el alumno), se selecciona el número de agentes infectados (*infectar*; Figura 1) con un virus de alguna enfermedad contagiosa. El o los agentes infectados pueden contagiar a otros agentes o al individuo al tocarlos. Al correr el software (*iniciar*, Figura 1) los agentes y el individuo pueden moverse y ello permite simular el proceso de contagio. De manera simultánea el software genera una gráfica con la cantidad de agentes contagiados (*número de infectados*, Figura 1) en función del tiempo.

3.2. Proceso de implementación

El proceso de implementación de la MXA se desarrolló en los ambientes de Microsoft Teams y NetLogo. Los alumnos recibieron, mediante la plataforma de Microsoft Teams, los archivos de la actividad *DG*. Esta experimentación se llevó a cabo en abril de 2020, cuando la cuarentena por COVID-19 en México tenía tan sólo tres semanas en proceso.

Fase 1. Los alumnos y el docente se conectaron en una sesión sincrónica por medio del Software de Microsoft Teams. La actividad inició con una breve plática de aproximadamente cinco minutos por parte del docente sobre la importancia de las matemáticas para describir y comprender los fenómenos que nos rodean como por ejemplo la propagación de las enfermedades, en particular COVID-19 —en la PMM es importante que las actividades que realicen los estudiantes estén contextualizadas en alguna situación cercana al estudiante (Lesh y Doerr, 2003a). Posteriormente, el profesor introdujo brevemente el software.

Fase 2. Se hizo una simulación con un agente infectado. Se pidió a los estudiantes que observaran la simulación. Después de la simulación los alumnos explicaron el comportamiento de la propagación de la enfermedad y su gráfica asociada. El docente puso énfasis en los conceptos matemáticos que emergieron.

Fase 3. Se hizo una simulación con dos agentes infectados. Antes de la simulación, el docente propuso de nuevo que los alumnos hicieran conjeturas respecto a lo que sucedería. Después de la simulación los alumnos explicaron el comportamiento de la propagación de la enfermedad y su gráfica asociada. El docente puso énfasis en más conceptos matemáticos que emergieron.

Fase 4. Se hizo una simulación con cinco agentes infectados. Antes de la simulación el docente propuso de nuevo que los alumnos hicieran conjeturas respecto a lo que sucedería. Después de la simulación los alumnos explicaron el comportamiento de la propagación de la enfermedad y su gráfica asociada. El docente puso énfasis en los conceptos matemáticos que emergieron en cada simulación, por ejemplo, variables, variación, tasa de crecimiento, ordenada al origen, entre otros.

Ocho de los 18 alumnos instalaron NetLogo y la actividad en sus computadoras, por lo tanto pudieron realizar sus propias simulaciones. Los otros diez observaron las simulaciones por medio de la pantalla compartida del docente.

3.3. Papel del profesor

Durante toda la sesión, el profesor fue orquestador de la discusión, mediante el planteamiento de preguntas que permitieran a los estudiantes comprender el fenómeno, interpretar las gráficas (asociarlas al crecimiento exponencial) y desarrollar conocimiento y habilidades como: la observación, el planteamiento de conjeturas, el análisis, la verificación de casos particulares, a través de la exploración con el software y la generalización. El docente propició la interacción social entre los estudiantes para promover una comunidad de aprendizaje desde la implementación de la MEA. El profesor tenía experiencia en el desarrollo de actividades (sustentadas en la PMM) con estudiantes en ambientes presenciales.

3.4. Acopio de datos

El acopio de datos fue mediante las videgrabaciones de las interacciones [estudiante-estudiante y estudiante-profesor] durante toda la experimentación de la MXA, el registro escrito de las respuestas de los estudiantes en las hojas de trabajo al realizar las simulaciones y la bitácora del docente. Los estudiantes usaron Word y lápiz y papel para desarrollar las actividades de las hojas de trabajo, tomaron fotos de imágenes de las simulaciones y las pegaron en sus hojas de trabajo para complementar sus respuestas.

4. RESULTADOS

Se describe cómo al ser implementada la MXA (basada en NetLogo) en la plataforma Microsoft Teams permitió tal como Doerr (2016) lo señala: el surgimiento de ciclos de descripciones, interpretaciones, conjeturas y explicaciones que fueron revisadas y refinadas mientras los estudiantes trabajaron con otros estudiantes y con el profesor.

De tal manera, que los estudiantes revelaron sus concepciones matemáticas previas y del fenómeno de propagación de enfermedades infecciosas.

4.1. Episodio 1. Contextualización de la situación (Actividad en Microsoft Teams)

La plataforma permitió que el docente y los 18 estudiantes se logaran conectar desde su casa de manera sincrónica para atender la sesión. Microsoft Teams facilitó la comunicación e interacción del grupo [estudiante-estudiante y estudiantes-profesor], inclusive asesoría técnica.

4.1.1. El contexto

El docente inició la sesión con la introducción siguiente para contextualizar la actividad en el fenómeno COVID-19.

[1] *Docente*: Estar estudiando matemáticas no quiere decir que dejemos, nada más, a las matemáticas en el salón de clases, o en las clases que tenemos. Sino que realmente, como hemos platicado, las matemáticas nos ayudan en la vida cotidiana; y, pues un problema que tenemos, que ahorita se detonó es el coronavirus. Pero realmente siempre hay infecciones que tienen ciertos comportamientos. Es por eso que este software [*se refiere a NetLogo*] y esta actividad [*diseminación de enfermedades*] que les mandé [*se refiere a que les entregó la actividad mediante Microsoft Teams*] está en ese sentido.

La intervención del docente se justifica en su conocimiento sobre la importancia del contexto para motivar a los estudiantes, lo cual se deriva de sus lecturas sobre la PMM propuesta por Lesh y Doerr (2003a) y su experiencia al trabajar en ambientes presenciales basados es esta perspectiva.

4.1.2. Aspectos técnicos

El docente apoyó también mediante asesoría técnica a los estudiantes, que habían logrado descargar la actividad *DG* de NetLogo, para que junto con él realizaran las simulaciones en sus equipos. Destinó poco tiempo, de la siguiente manera, para resolver inquietudes sobre la descarga de la actividad y uso de comandos, botones y controles del software.

[2] *Docente*: Ustedes están marcados con el color amarillo: ¿si se vieron en color amarillo? [*promovió que los estudiantes observaran que estaban inmersos como parte de la población de individuos en la simulación*]

[3] *E1*: Sí.

[4] *E2*: Sí.

[5] *E3*: Sí profe.

[6] *Docente*: Ok. ¿y si vieron cómo se mueven ustedes? Ahí. Dentro de... Dentro del software. Dentro del programa

Investigadores como Haspekian (2005) señalan que el uso de la tecnología puede aprenderse simultáneo al aprendizaje de las matemáticas. No siempre es necesario desarrollar sesiones de aprendizaje de software separadas de las sesiones de aprendizaje de matemáticas. En este caso, debido a lo amigable del software, se consideró que podía aprenderse el uso básico del mismo a la par de apoyar la comprensión de las gráficas asociadas al fenómeno

4.2. Episodio 2. Desarrollo de conocimiento matemático [G] y sobre el fenómeno de propagación de enfermedades [C] a través de la simulación y gráfica en NetLogo (Microsoft Teams y NetLogo)

Se analizó el proceso de evolución de ideas de los estudiantes respecto a:

- a) la comprensión de gráficas —y conceptos matemáticos como variación, tasa de cambio, ordenada al origen [*G*].

- b) la asociación de la gráfica al contexto de propagación de enfermedades infecciosas como COVID-19 [C] y por lo tanto, comprensión del fenómeno.

4.2.1. Primera simulación: la simulación un juego; variables, variación y tasa de cambio

El docente solicitó la observación de la simulación llevada a cabo con un agente y la descripción e interpretación del fenómeno.

- [7] *Docente*: Lo que necesito es que ustedes... bueno, todos los que no tienen ahorita el software para usarlo, nos platiquen qué es lo que estamos viendo [con esta frase el docente trató de promover que los estudiantes exploraran, describieran, y analizaran la situación]. ¿De acuerdo? Bueno, entonces, vamos a iniciar ya con esto. La idea es que todos o los que puedan, van a darle iniciar y van a tratar de moverse para que no sean infectados. ¿De acuerdo? Muy bien... empezamos entonces.

La simulación tomada como un juego

Ocho estudiantes simularon el fenómeno de manera individual, mientras que 10 observaron en la plataforma la simulación realizada por el docente. Uno de los ocho estudiantes, que simuló de manera individual, percibió la actividad como una actividad lúdica con reglas que quizás debían aclararse durante la clase. Es decir, no lo asoció con el contexto de una situación real, como COVID-19. Por lo tanto, no tuvo claro cómo comportarse.

- [8] *Docente*: Traten de moverse para no ser infectados. ¿De acuerdo?
[9] *E3*: ¿Y si nos infectan profe? ¿voy a infectar a los demás o qué hago? [No C]
[10] *Docente*: ¿Tú qué harías? [El docente pregunta para que los alumnos se conscienticen respecto al fenómeno]

Descripción cualitativa de la forma de la gráfica

Posterior a la simulación (Figura 1). Antes de borrar la gráfica obtenida. El docente propició reflexión sobre la gráfica.

- [11] *Docente*: ¿Me pueden mencionar qué observan de la gráfica por favor? Me van diciendo quién participa para irlo apuntando como siempre [el profesor trató de promover la interacción docente-estudiantes].
[12] *E4*: Pues que...
[13] *Docente*: Ajá... Dime
[14] *E3*: que va ascendiendo [G].

Los estudiantes describieron la gráfica de manera cualitativa [14]. Pero no mencionaron que era una gráfica creciente, como podría esperarse en una clase de matemáticas, tampoco describieron el tipo de crecimiento exponencial (conocimiento que emergió en la MEA).

Descripción cualitativa de la forma de la gráfica con base en el contexto

Incluyeron el contexto de la epidemia en sus descripciones.

- [15] E4: Va ascendiendo de una manera bastante rápida por el alto contagio de la epidemia [*epidemia para los estudiantes era COVID-19*]. [G, C]
[16] E5: por la epidemia. [G, C]
[17] Docente: Ok. E4 menciona: que va... va aumentando rápidamente por el caso de la epidemia. Alguien más intervino y no alcancé a escuchar. ¿Quién era?
[18] E5: Sí maestro. Este...
[19] Docente: ¿E5?
[20] E5: Sí. Se observa, pues que va aumentando la epidemia ¿no? rápidamente. [G, C]

Un par de estudiantes hicieron una descripción más formal de la forma de la gráfica; ello se debió a que observaron líneas en la gráfica (Figura 1).

- [21] E9: Es que se ve que [*se refiere a la forma de la gráfica*]... en los primeros contagios, es primero lineal un poquito [G].
[22] Docente: Ajá. Ok.
[23] E9: y ya, posterior a eso se empiezan a... empieza a ascender [*se refiere a la forma de la gráfica*], pues en base a los contagiados. [G, C]

Descripción cuantitativa de la gráfica

El docente preguntó: ¿qué más observan?

- [24] E6: En la gráfica aparece el tiempo.
[25] E10: Tiempo.
[26] Docente: Ajá
[27] E6: que tardan en infectarse.
[28] Docente: Ok
[29] E6: En un... en una línea [*se refiere a la abscisa de la gráfica*] y en la otra [*se refiere a la ordenada*] aparece el número de infectados [*mencionó las variables graficadas*]
[30] Docente: Ok
[31] E6: Que 57.2 y 456. Pero, no sé a qué se refiere aquí, 456 [*no sabe si son segundos*].

Se observa en el diálogo cómo el estudiante E6 identificó las variables y cómo estaban relacionadas, aunque no utilizó lenguaje formal matemático; También, se nota cómo incluyeron datos en sus descripciones, lo cual se aprecia en el último comentario de E6. De acuerdo con resultados obtenidos por Lesh y Yoon (2004) es natural que los estudiantes suelen interpretar y describir, primero de manera cualitativa, algunos fenómenos o actividades, y posteriormente amplíen sus descripciones para introducir análisis cuantitativos.

Observaciones

Al principio un estudiante tomó, inicialmente, como juego –quizás con ciertas reglas– la simulación que realizaron en el aula. El fenómeno de COVID-19 no se mencionó explícitamente en las descripciones, a pesar de ser utilizado como un contexto inicial por el profesor; sin embargo, la gráfica fue contextualizada por los estudiantes en términos de la propagación de una enfermedad.

En términos de la PMM (Lesh, 2010) se observa cómo el sistema conceptual de los alumnos evolucionó, las interpretaciones y descripciones iniciales cualitativas se ampliaron para incluir cuantitativas. Se identificaron variables, la relación entre las mismas y los estudiantes empezaron a dar sentido a las cantidades numéricas que aparecían en la gráfica. Podría decirse que el sistema conceptual de los alumnos progresó de forma gradual por las dimensiones: sencillo-complejo (dimensiones tomadas de Lesh, 2010).

Debido a las dificultades de conexión de red wifi, varios estudiantes mantuvieron sus videos apagados. Esto impidió observar el lenguaje corporal al que se tiene acceso en un ambiente presencial. Sin duda, esta puede ser una limitante cuando se usan plataformas, ya que la observación del lenguaje corporal puede apoyar al docente para saber cuándo es necesario retroalimentar las actividades. En este estudio el docente se basó en el contenido y entonación de las participaciones verbales de los estudiantes para identificar si había entendimiento de la situación.

4.2.2. Segunda simulación. Involucramiento en la simulación; construcción, exploración y verificación de conjeturas

En esta simulación el docente fomentó que los estudiantes desarrollaran conjeturas, las describieran, exploraran y verificaran. Con este objetivo, puso énfasis en la comparación de las gráficas obtenidas al final de la simulación y en los conceptos matemáticos como variables, variación y rapidez (asociada a tasa de crecimiento).

Conjeturas

El docente, antes de la simulación con dos infectados, solicitó a los estudiantes que desarrollaran conjeturas respecto a la posible forma de la gráfica. Las respuestas de los estudiantes fueron variadas, aunque todos pensaron que la infección debía ser más rápida.

[32] *E5*: si yo creo que va a ser sobre esta [encima de la gráfica anterior] profesor, pero creo que no va a llegar hasta arriba.

[33] *Docente*: Ok.

[34] *E5*: yo creo.

[35] *Docente*: No crees que llegue hasta arriba. Perfecto

[36] *E5*: No. Creo que si se va a elevar, pero...no. Como son dos, pues va a ser más rápido el contagio, yo creo. [G, C]

- [37] *Docente*: Ok. Muy bien.
[38] *E6*: Yo creo que el número de infectados disminuiría, no?
[39] *Docente*: El número de infectados disminuiría
[40] *E6*: Porque se supone que la van a curar, no? [C]

La comunicación, de acuerdo con la PMM (Lesh, 2010) es un aspecto que se debe cuidar en estos ambientes porque permiten que el estudiante revele su conocimiento, modifique, amplíe y refine su forma de pensar. Por lo tanto, el docente cuidó sus intervenciones [35, 37, 39] para apoyar que los estudiantes fueran quienes describieran lo que ocurriría, sin evaluar de antemano sus conjeturas.

Exploración de conjeturas

La simulación del fenómeno fue interesante para los estudiantes, pero más cuando la realizaron de manera individual, ya que no sólo permitió explorar las conjeturas, sino que el hecho de mover su propio individuo los hizo sentirse parte de la población donde se propagaba la infección; *E7* es un ejemplo cuya intervención se describe enseguida, mencionó de manera explícita el fenómeno COVID-19 y en sus expresiones denota su involucramiento en la actividad [43].

- [41] *E7*: ¡Ya se infectaron todos y yo sigo sin infectar! [*Los estudiantes cuidaron que su individuo no se infectara en esta simulación, igual que el docente*] [C]
[42] *Docente*: ¡Eso!, ¡muy bien! A ver.
[43] *E7*: ¡Ya soy inmune al coronavirus! Ah, no. ¡Ya me infectó! ¡Ya valió madre! [C]
[44] *Docente*: Ok.
[45] *E7*: Pero sí se ve un cambio radical en la rapidez con la que se infectaron [G]

Verificación de conjeturas

Una vez terminada la simulación (Figura 2), el profesor promovió que los estudiantes revisaran las conjeturas.

- [46] *E5*: No. [*la gráfica*] no llegó hasta el mismo nivel.
[47] *Docente*: En la gráfica que tengo aquí se ve como llega al mismo nivel ¿por qué llegará al mismo nivel si fueron diferente número de infectados al inicio?
[48] *E7*: Es por el tiempo no?
[49] *E1*: Porque al final son... es la misma cantidad de personas. ¿no?

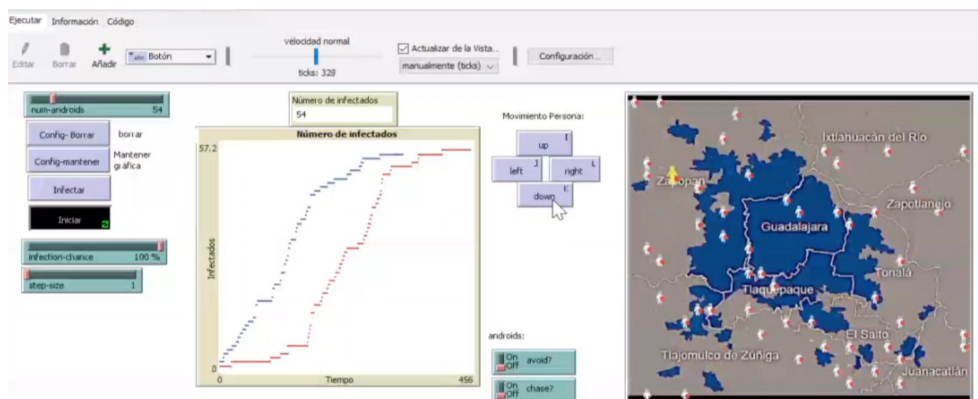


Figura 2. Segunda simulación de la actividad DG en NetLogo

Observaciones

En este nuevo ciclo de descripciones e interpretaciones, el docente conocedor de la importancia de las conjeturas y explicaciones en la PMM, promovió que los estudiantes las realizaran. La descripción de la gráfica fue cualitativa, le dieron más sentido [45, 49] al mencionar cómo la cantidad de población estaba representada en la misma. Por primera vez, el fenómeno COVID-19 emergió de manera explícita por los estudiantes [43].

4.2.3. Tercera simulación. Estrategias para evitar el contagio; variables, variación, tasa de cambio y ordenada al origen

En esta simulación el docente además de promover que los estudiantes desarrollaran, de nuevo, conjeturas, exploraran, describieran, analizaran y verificaran las mismas, puso énfasis en ¿cuál sería la mejor estrategia para no contagiarse? En las descripciones de los estudiantes volvieron a emerger frases asociadas a la identificación de variables, variación y tasa de crecimiento (asociada a rapidez de contagio). El docente posibilitó que los estudiantes dieran significado a la ordenada al origen en la gráfica, en términos del contexto.

Conjeturas

Las conjeturas iniciales fueron las siguientes

- [50] E6: Que la infección va a ser más rápida. ¿no?
- [51] Docente: Más rápida.
- [52] E2: Más rápida.
- [53] Docente: ajá.
- [54] E7: cinco veces más rápida al parecer.

[55] *Docente*: Ok.

[56] *E1*: Quizás la gráfica vaya más lineal para arriba.

Ningún estudiante corrigió la observación de E7 [54]. En lugar de pensar de asociar la cantidad inicial de personas infectadas (cinco) a la ordenada al origen de la gráfica, los estudiantes como E7, la asociaron a la rapidez del contagio.

Exploración de conjeturas

La simulación del fenómeno permitió, además de explorar las conjeturas, percibir que podían encontrar estrategias para no contagiarse [57]. Los estudiantes platicaron sus estrategias para evitar el contagio de la infección, lo cual relacionaron con Covid-19 [60].

[57] *E4*: Ah, qué buena estrategia esa de la esquina.

[58] *E7*: Esconderse.

[59] *Docente*: Muy bien. Ok. Quiero que observen...

[60] *E7*: Es que sí obedeció de quedarse en cuarentena. [C]

Verificación de conjeturas

Una vez terminada la simulación (Figura 3), el profesor promovió que los estudiantes revisaran las conjeturas. La discusión fue similar a la que se dio al término de la segunda simulación. Pero, en esta discusión, el docente puso énfasis en que los estudiantes analizaran la ordenada al origen de la gráfica.

[61] *Docente*: ¿por qué esta línea empezó aquí, y por qué ésta aquí, y por qué ésta aquí?

[el docente se apoyó del cursor para indicar la ordenada al origen de cada gráfica]

[62] *E6*: Porque empezó con más números [inaudible].

[63] *E8*: Los números cinco y... [inaudible].

[64] *E7*: La cantidad de infectados con la que comenzó.

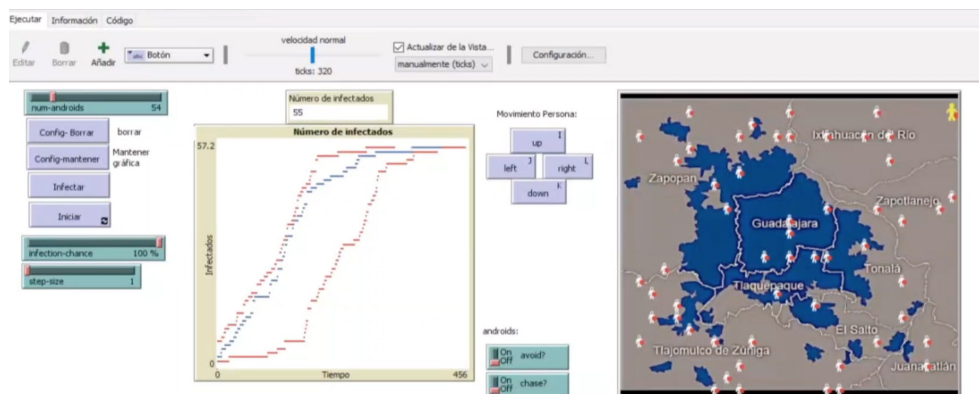


Figura 3. Tercera simulación de la actividad DG en NetLogo

Observaciones

Esta tercera simulación posibilitó que los estudiantes evaluaran sus conjeturas y le dieran más sentido a la gráfica al discutir lo que significaba ordenada al origen. Identificaron que esconderse en una esquina, podía ser útil para no contagiarse, lo que implicó que le dieran sentido a la cuarentena solicitada por las autoridades gubernamentales para evitar el contagio por COVID-19. Ello es importante como parte de la formación de los estudiantes no solo en la escuela, sino también para la vida y es parte de los objetivos de la PMM la cual pone énfasis en que se debería fomentar en clases que los estudiantes aprendieran a tomar decisiones con base en sus experiencias y conocimiento (Lesh y Doerr, 2003a).

4.3. Episodio 3. Profundización individual en el conocimiento matemático [G] y el comportamiento del fenómeno de propagación de enfermedades a través de hojas de trabajo (Microsoft Teams)

En las hojas de trabajo que 15 estudiantes entregaron resueltas (como tarea extraclase) se nota cómo de manera individual lograron identificar las variables, comparar la tasa de infección y dar sentido a la ordenada al origen. Se incluyó la pregunta: ¿Que aprendí? Las respuestas fueron variadas, pero en cuanto al entendimiento de la propagación de enfermedades infecciosas se observó lo siguiente.

- Diez estudiantes manifestaron que la actividad les había permitido entender el fenómeno de COVID-19 y por qué debían tomar tantas precauciones.
- Tres más, no mencionaron COVID -19, pero señalaron que habían aprendido sobre la diseminación de enfermedades.
- Dos estudiantes no entregaron la respuesta a esta pregunta.

En las respuestas a la pregunta ¿qué aprendí?, once estudiantes, a pesar de que no se les preguntó, manifestaron que había sido divertida la actividad (Figura 4). El resto no escribió algo al respecto.

A mí en lo personal fue un programa que las veces que lo utilice me mostraba un juego bastante entretenido, pero también una fórmula matemática, al igual que te crea conciencia y estrategia mental.

Aprendí que el mayor número número de contagios se ve claramente cuando empiezan nuevos brotes en distintas partes, por lo que de ahí se va formando una especie de circunferencia donde cada vez hay menos espacio solo o bien sin (Contagios).

A partir de ello claramente nos muestran en la gráfica la inclinación que empieza a tener por un contigo masivo diario.

Realmente esto también nos señala , una parte muy importante que es tomar las medidas necesarias , como lo muestran las gráficas , entre menos personas se encuentren cerca y no hagan alguna actividad que no sea de mayor importancia esto disminuirá y la gráfica se tornara con menor volumen y un índice de crecimiento bajo. Es un aplicación muy buena que nos enseña el valor matemático y la importancia del balance para que no haya un incremento mayor y claramente esto lo van denotando las gráficas.

Si bien agradezco mucho la enseñanza y me quedo con los valores y las medidas enseñadas que nos muestra (Netlog), seguido de implementarlo y hacerlo real.



Figura 4. Reporte de estudiante E14

- Los 15 estudiantes identificaron las variables, la variación no constante y aunque no cuantificaron la tasa de cambio promedio, describieron la rapidez del contagio.

Observaciones

Las hojas de trabajo apoyaron el tránsito de descripciones cualitativas a cuantitativas en términos de describir, cantidades de agentes infectados en función del tiempo, la ordenada al origen, el tiempo total de contagio. La descripción de la rapidez del contagio se quedó en un nivel cualitativo.

5. CONCLUSIONES

Respecto a las preguntas de investigación planteadas: ¿Cómo pueden NetLogo y Microsoft Teams apoyar el entendimiento de la diseminación de una enfermedad? ¿Cómo puede NetLogo fomentar la comprensión de las gráficas asociadas a la propagación de una enfermedad? Se puede contestar lo siguiente. Microsoft Teams permitió la gestión de recursos, la conexión sincrónica mediante videollamada y la grabación del video. Los estudiantes tuvieron la posibilidad de interpretar, describir, explicar y predecir el fenómeno de diseminación de enfermedades gracias al uso de NetLogo. La gráfica asociada a la simulación fue fundamental para dar significado al comportamiento del fenómeno. Los estudiantes entendieron que la rapidez de propagación dependía de cómo se movieran los agentes y el individuo, cómo se acercaran unos a otros, y de la cantidad inicial de infectados; lograron verse como parte de la población que podía ser infectada y por lo tanto establecieron estrategias para evitar el contagio. Los estudiantes desarrollaron conjeturas, las describieron, exploraron, analizaron y verificaron.

La actividad posibilitó que ampliaran su forma de pensar sobre el comportamiento de la propagación de enfermedades infecciosas como COVID-19 y refinaron su entendimiento sobre las gráficas al interactuar con NetLogo y el carácter dinámico de la herramienta. Los estudiantes manifestaron que entendieron el fenómeno, las recomendaciones de salud pública y que les gustó la actividad de NetLogo. Con ello consideramos que se aportó en la preparación de estos estudiantes para comprender la situación de crisis global y para actuar de manera informada.

La simulación en el contexto de propagación de enfermedades permitió que los estudiantes ampliaran, refinaran y asociaran sus conocimientos matemáticos con el fenómeno de pandemia COVID-19, el cual ha sido difícil de entender desde su inicio por la población, aunque circule mucha información en los noticieros y redes sociales. Consideramos que experiencias de este tipo se deberían llevar a cabo en el aula en estos tiempos de pandemia donde continuar con la mecanización de algoritmos y la definición de conceptos no debería ser el único centro de atención en cuanto al aprendizaje de las matemáticas.

Existen limitantes asociadas a la implementación de la MXA en ambientes sincrónicos, si comparamos con una implementación en ambientes presenciales. Por ejemplo, los estudiantes no pueden participar en la misma simulación como lo permite HubNet de NetLogo exclusivo para computadoras en red. Queda pendiente para una siguiente implementación apoyar más la reflexión sobre la tasa de cambio promedio.

6. AGRADECIMIENTOS

Expresamos un agradecimiento al Proyecto Campus Viviente (<http://campusviviente.org>), en particular a la Dra. Carmona por compartir su experiencia académica sobre el uso de NetLogo; a CONACYT por su apoyo a través de las becas de posgrado y al Dr. René Luna García del CIC /IPN por la asesoría para la adaptación de la actividad *DG* en NetLogo. Cualquier opinión y conclusiones expresadas en este artículo son únicamente de los autores de este artículo.

7. REFERENCIAS

- Årlebäck, J.B., Doerr, H.M. (2018). Students' interpretations and reasoning about phenomena with negative rates of change throughout a model development sequence. *ZDM*, 50, 187–200.
- Årlebäck, J. B., Doerr, H., y O'Neil, A. (2013). A modeling perspective on interpreting rates of change in context. *Mathematical Thinking and Learning*, 15(4), 314-336.
- Badillo, D. (2020). SEP implementa clases a distancia durante emergencia sanitaria. *El economista*. Recuperado el 13 de abril de 2020, de <https://www.economista.com.mx/politica/SEP-implementaclases-a-distancia-durante-emergencia-sanitaria-20200413-0100.html>
- Doerr, H. M. (2006). Teachers' ways of listening and responding to students' emerging mathematical models. *ZDM*, 38(3), 255-268.
- Doerr, H. M. (2016). Designing sequences of model development tasks. En C. R. Hirsch y A. R. McDuffie (Eds.) *Annual Perspectives in Mathematics Education 2016: Mathematical modeling and modeling mathematics* (pp. 197-205). Reston, Va: National Council of Teachers of Mathematics.
- Haspekian, A. (2005). An «Instrumental approach» to study the integration of a computer tool into mathematics teaching: the case of spreadsheets. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 10, pp. 109-141.
- Hernández-Navarro, L. (2020). Coronavirus y educación. *La Jornada*. Recuperado el 14 de abril de 2020, de <https://www.jornada.com.mx/2020/04/14/opinion/018a1pol>
- Juárez-Pineda, E. (2020). Universidades lanzan plataforma de innovación de la docencia frente al Covid-19. *Educación futura*. Recuperado el 13 de abril de 2020, de <http://www.educacionfutura.org/universidades-lanzan-plataforma-de-innovacion-de-la-docencia-frente-al-covid-19/>
- Kaput, J.J. (1999). Teaching and learning a new algebra. En *Mathematics classrooms that promote understanding* (pp. 145-168). Routledge.
- Lesh, R., Cramer, K., Doerr, H. M., Post, T. y Zawojewski, J. S. (2003). Model Development Sequences. En R. Lesh y H. M. Doerr (Eds.) *Beyond Constructivism. Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 35-58). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lesh, R. y Doerr, H. M. (2003a). Foundations of a Models and Modeling Perspective on Mathematics Teaching, Learning, and Problem Solving. En R. Lesh y H. M. Doerr (Eds.) *Beyond Constructivism. Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 3-34). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Lesh, R. y Doerr, H. M. (2003b). In What Ways Does a Models and Modeling Perspective Move Beyond Constructivism? En R. Lesh y H. M. Doerr (Eds.) *Beyond Constructivism. Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 519-556). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lesh, R. (2010). Tools, researchable issues and conjectures for investigating what it means to understand statistics (or other topics) meaningfully. *Journal of Mathematical Modeling and Application*, 1(2), 16-48.
- Lesh, R. y Yoon, C. (2004). Evolving Communities of Mind in which development involves several interacting and simultaneously developing strands. *Mathematical Thinking and learning*, 6(2), 205-226.
- Mendiola- Álvarez, G. (2020). Covid-19. Cambiar de paradigma educativo. *Comie*. Recuperado el 16 de abril de 2020, de <http://www.comie.org.mx/v5/sitio/2020/04/16/covid-19-cambiar-de-paradigma-educativo/>
- Ortiz, A., Miranda, P., Espino, M. y Rodríguez, K. (2020). Las 2 caras de la etapa más crítica de la pandemia en México. *El universal*. Recuperado el 9 de mayo de 2020, de <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/las-2-caras-de-la-etapa-mas-critica-de-la-pandemia-en-mexico>
- Rodríguez-Calva, P. (2020). Hasta que se contagie 80% de la población, pandemia estará controlada. *Excelsior*. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/hasta-que-se-contagie-80-de-la-poblacion-pandemia-estara-controlada/1380796>
- Saldaña, J. (2018). Modelos de propagación de enfermedades. *Investigación y Ciencia*, 94. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/temas/salud-global-755/modelos-de-propagacin-de-enfermedades-11457>
- Secretaría de Salud. (2020). *Informe diario por coronavirus en México* [video]. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=vvjhy2X8R2I>
- Steen, L. A. (2003). La enseñanza agradable de las matemáticas. En R. García (Trad.), *On the shoulders of giants: New approaches to numeracy*. D.F. México: Limusa. (Trabajo original publicado en 1990).
- Stroup, W. (2005). Learning the basics with calculus. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 24(2), 179-196.
- Tisue, S. y Wilensky, U. (2004). *NetLogo: A simple environment for modeling complexity. International conference on complex systems*. <http://profs.hut.ac.ir/~bashiri/files/netlogo.pdf>
- Thompson, P. W., y Carlson, M. P. (2017). Variation, covariation, and functions: Foundational ways of thinking mathematically. En J. Cai (Ed.) *Compendium for research in mathematics education* (pp. 421-456). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- World Health Organization. (2020). *Coronavirus disease (COVID-19) pandemic*. Recuperado el 31 de mayo de 2020, de <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>