

La experiencia de la construcción de modelos matemáticos aplicado ala ecología: Implementando simulaciones computacionales como punto de inicio

The experience of building mathematical models applied to ecology:
Implementing computer simulations as a starting point

Recibido: marzo 21 de 2022 | Revisado: mayo 01 de 2022 | Aceptado: mayo 20 de 2022

NEISSER PINO ROMERO¹
NATASHA MELCHOR BARRIONUEVO²
CARLOS MEJÍA ALEMÁN³

RESUMEN

Una de las ciencias más significativas de poder abstraer el mundo donde vivimos es la matemática; y con las matemáticas se puede construir modelos. Los modelos matemáticos permiten analizar y proyectar la dinámica del fenómeno que estamos estudiando. En este sentido, la ecología matemática ha aportado enormemente al estudio de la dinámica de las especies, y esta importancia es vital para los estudiantes de ciencias de la vida. La modelización computacional enseña de manera dinámica y didáctica la construcción de propuestas para luego estudiarlas de manera matemática. Este proceso permite complementar un análisis matemático y una construcción informática donde el estudiante aborda, desde la creatividad diferentes formas de modelar un problema ecológico que puede extenderlo a la epidemiología de una manera intuitiva, pero con fundamento científico para poder seguir abstrayendo los fenómenos de la vida real.

Palabras clave: Modelización matemática, Ecología matemática, Sistemas de ecuaciones diferenciales, Simulación computacional

ABSTRACT

One of the most significant sciences to be able to abstract the world where we live is mathematics; and with mathematics you can build models. Mathematical models allow us to analyze and project the dynamics of the phenomenon we are studying. In this sense, mathematical ecology has contributed enormously to the study of the dynamics of species, and this importance is vital for students of life sciences. Computational modeling teaches in a dynamic and didactic way the construction of proposals and then study them mathematically. This process allows to complement a mathematical analysis and a computer construction where the student approaches, from creativity, different ways of modeling an ecological problem that can be extended to epidemiology in an intuitive way, but with scientific foundation to be able to continue abstracting the phenomena of life real.

Keywords: Mathematical modeling, Mathematical ecology, Systems of differentialequations, Computational simulation

- 1 Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima-Perú
- 2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú
- 3 Universidad José María Arguedas, Perú

Autor para correspondencia neisser.pino@upch.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n33.09>

Introducción

Durante la formación académica universitaria siempre ha surgido una pregunta interesante que viene a ser: ¿de qué sirve la matemática en mi formación, en mi carrera? Esta pregunta ha nacido durante varias inducciones académicas por parte de los estudiantes que dentro de poco tiempo iniciarán su formación académica dentro de la universidad (Godino, 2010). Momentos de interacción donde se generan preguntas: de cómo se debe realizar una correcta adecuación de los cursos formativos y de especialidad dentro de una carrera de ciencias viene a ser un baluarte de la enseñanza (Álvarez, 2008).

Muchos estudiantes cuando llegan a un momento requieren formalidades e ideas matemáticas para poder realizar un modelo o al menos comprender el modelo que se le propone. Y estos conocimientos tienden a complicar la enseñanza, pero es necesario dedicar un tiempo adecuado al curso de matemática tanto en su forma aplicada como teórica (Font et al., 2014). Por lo cual, durante varias actividades en grupos donde participan estudiantes de pregrado, posgrado y profesores se pudo recolectar datos sobre su apreciación de las actividades académicas donde se imparten el tema del modelamiento matemático aplicado a la vida (ecología), con un énfasis en la implementación computacional debido que una motivación importante es la generación de visualización de la evolución de la población considerada, y cómo el cambio de los valores numéricos que se considera afecta en la simulación computacional (Liljedahl et al, 2011).

Desde esta perspectiva, se introduce algunas preguntas reflexivas de

cómo el modelamiento matemático y computacional, desde estudiantes de pregrado hasta docentes, aporta conocimientos sólidos para una formación académica enfocada a la investigación en un área de la ciencia (Malaspina, 2007; Sánchez y Roque, 2011). Por lo cual, en los conocimientos teóricos de la matemática se recurrieron a las ecuaciones diferenciales ordinarias para poder construir y analizar los modelos matemáticos (Murray, 2001). Esta herramienta es didáctica y pedagógica ya que ayuda a introducir el modelamiento matemático de una forma más tangible al momento de explicar los términos, más aún, cuando se asocia las dinámicas de las variables que conciernen al problema que se desea modelar. Un detalle a señalar aquí es la concepción de conocimientos básicos e intuitivos para la construcción de un modelo matemático básico (Pino y Acasiete, 2018).

Método

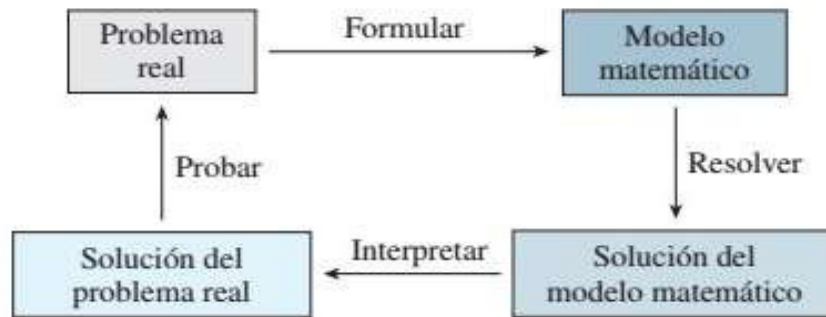
En muchas de las situaciones de la vida real, nos plantean cómo se debe estudiarlas para poder proponer soluciones de tal manera que ayuden a la sociedad en su progreso mediante la ciencia, de manera específica en la enseñanza de la ciencia (Liljedahl et al, 2011). Algo que caracteriza a los estudiantes de pregrado, de los primeros años, es la creatividad y la noción de plantear ideas curiosas que quizás no se puedan formalizar, pero guían senderos de investigación (Brito-Vallina, 2011). Por consiguiente, es labor de los profesores que puedan apoyarlos a consolidar las ideas para poder complementarse la noción científica en una sinergia que generará en un mañana un proyecto de investigación (Pino y Acasiete, 2018).

En la actualidad, donde los trabajos de investigación son colaborativos con personas de diferentes áreas de la ciencia, sin olvidar que de esta manera se fomenta la investigación como soporte al crecimiento académico y científico (Font et al., 2014). Estas actividades en muchos lugares y con similares enfoques se realizan en diferentes universidades de todo el mundo que buscan la divulgación de la ciencia (Álvarez, 2008).

Tales diligencias académicas se han fomentado de manera virtual por la pandemia que se afronta, actualmente donde el distanciamiento social no ha disminuido la actividad académica-científica sino más bien ha incrementado, donde se ha complementado para buscar formas de aportar para afrontar la propagación del virus, sino también las metodologías de cómo se pueden impartir en este tiempo difícil (Cabezas, 2020).

Figura 1

Diagrama para la formulación de un modelo matemático



Nota. Soo Tang (2019)

En la Figura 1, mostramos la secuencia que se sigue para la construcción de un modelo matemático, y cómo surgen las interrogantes a fin de implementar las respectivas ecuaciones, y es donde la interacción entre estudiantes y profesores para poder conceptualizar un modelo matemático adecuado (Pino y Salazar, 2022). Obtener desde ideas básicas pero notables para fomentar el crecimiento personal y académico de cada estudiante con una implementación de nuevas formas de crear conocimiento para un objetivo académico (Pino, 2017). Por lo cual, como menciona Hernández et al. (1991) siempre será necesario medir los datos recolectados mediante alguna evidencia cuantificable para poder realizar un análisis adecuado de que la intervención académica realizada ha cambiado en la perspectiva de la

enseñanza de matemática, más aun, de la importancia de la transmisión del modelamiento matemático.

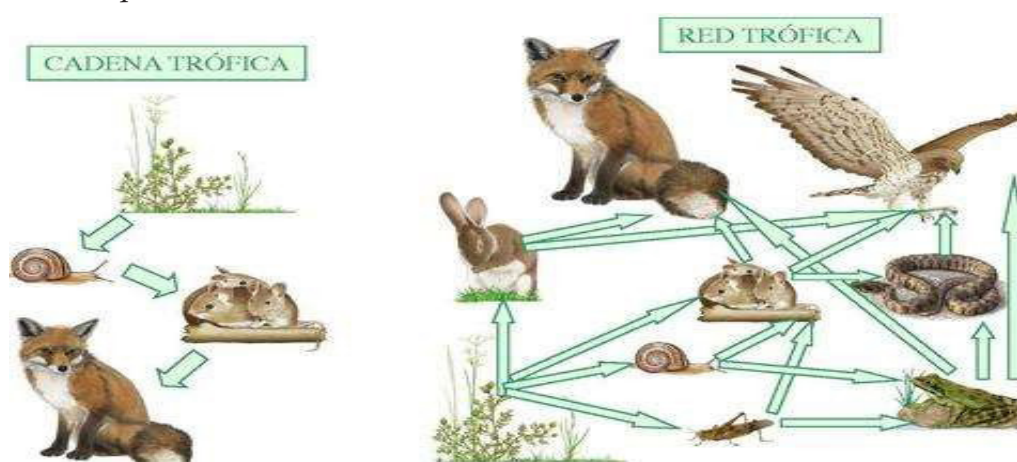
Dinámica de la presentación a la introducción al modelamiento matemático

Pedagógicamente, el modelamiento matemático puede aplicar diversas herramientas tanto para la ciencia como para la ingeniería. En la actividad académica realizada, lo enfocamos a la ecología matemática (Murray, 2001). Donde aplicamos la introducción al modelo matemático de Lotka-Volterra donde se considera dos especies (depredador-presa) para analizar la dinámica poblacional (Pino y Salazar, 2022). Pero siempre hay que empezar desde una concepción que se pueda

observar e imaginar de cómo sería el sistema que se debe construir, este detalle lo marcaron los estudiantes de pregrado que comenzaron a mencionar especies tras especies, y comentar sobre sus características de una forma intuitiva para acabar en una construcción formal.

Esta dinámica fue menos atractiva por los docentes, pero fue un estímulo

Figura 2
Ecosistema de especies (Cadena alimenticia).



La Figura 2 nos presenta una concepción visual de la dinámica de la cadena alimenticia que se presenta en un ecosistema. Donde la explicación de la interacción de las especies se expresa en el lenguaje matemático como la interacción de dos especies que se representa con el producto de las dos variables con un parámetro (tasa ecológica), la reproducción y la mortalidad es la multiplicación del parámetro con la variable considerada (Murray, 2001). Estos términos aportan la creatividad de aumentar términos y especies dentro del ecosistema modelo. En este sentido, la interacción estudiante y profesor fue importante para generar una sinergia invaluable entre la intuición y la formalidad en búsqueda de iniciar un

escuchar a los estudiantes decir las como una idea que susurra en la mente para ser escuchada y analizada. No hay duda que la metodología de construcción de un modelo matemático siempre será de manera formativa y llena de debate para contrastar ideas sobre la problemática estudiada y como se formaliza matemáticamente (Brito-Vallina et al., 2011).

proyecto de investigación en el área de la ecología matemática, o al menos con la intención de iniciarse en el modelamiento matemático (Font et al., 2014).

En circunstancias motivadoras, se impulsan a abrir el pensamiento y la idea para generar modelos, se comenta sobre diferentes modelos que incluyen especies diferentes, pero ecuaciones similares (Álvarez, 2008). Con lo cual, la abstracción de las hipótesis y las interpretaciones pueden ser otras pero los términos matemáticos similares (Sánchez y Roque, 2011). En la Figura 3 se presenta un ecosistema de otro ámbito biológico donde se puede aplicar con mucho entusiasmo a generar situaciones externas o aplicaciones reales de impacto social (Murray, 2001).

Figura 3

Ecosistema de especies marítimas (Cadena alimenticia)



Implementación computacional como introducción a un modelamiento dinámico

La computación ha apoyado enormemente a la generación de gráficas que permiten visualizar el comportamiento en el tiempo de los modelos. Actualmente, hay muchos programas computacionales para realizar la representación de las simulaciones de los modelos. La experiencia de las actividades académicas mediante las escuelas de modelamiento en diversas universidades (2021) nos ayudó a comprender que el proceso de instalación y actualización del software complica su utilización. Un recurso informático de mucha utilidad es la programación en

la nube, con lenguajes de programación dinámicos y didácticos como viene a ser el RStudio Cloud y el Colab Python (Canesche et al., 2021).

La utilización del Colab Python nos permitió una generación dinámica y aprehensiva para los estudiantes y profesores, debido a que este lenguaje de programación mediante su compilador “Jupyter” permite la introducción de texto y de código diferenciado, con lo cual la explicación de la teoría matemática y los comentarios computacionales se hacen muy adecuados para comprender la codificación y las referencias de programación estructurada (Pino y Salazar, 2022).

Figura 4

Código computacional Colab Python.



Uno de los resultados más interesantes de la sinergia entre estudiantes y profesores puede ser la creatividad de implementar códigos computacionales con mayor facilidad, siguiendo la lógica básica enseñada en los talleres (Liljedahl et al, 2011). Esto genera un complemento fantástico de promover porque la ciencia busca el sendero entre la juventud y la experiencia de los mayores, donde el aprendizaje entre los dos genera el interés por la ciencia y la investigación (Canesche et al., 2021).

Perturbación del modelo básico Lotka-Volterra como experiencia real de modelaje

Un resultado efectivo de la enseñanza es la interiorización del conocimiento y la reflexión del mismo para poder analizar la situación. Todo esto permite obtener una aprehensión del aprendizaje que ayude al crecimiento académico. La didáctica de transmitir matemática y más aún cuando se intenta modelar matemáticamente un problema de la vida real donde la variable independiente es el tiempo tiende a ser complicado de abstraer desde un primer momento (Sánchez y Roque, 2011). Pero ante la interacción de colores y representaciones básicas con una forma pedagógica para impulsar la construcción viene a ser el punto clave de un modelo

matemático desde su concepción con las hipótesis consideradas como también con sus modificaciones dentro de una didáctica de introducción al modelamiento matemático (Murray, 2001). Y así, construir paulatinamente un modelo más complejo donde contenga más hipótesis que se vaya acercando a la realidad del problema.

Durante cuatro actividades realizadas en diferentes universidades para diferentes carreras profesionales, se puede encontrar una situación similar entre profesores y estudiantes. Donde la apertura de construcción de modelos matemáticos y su implementación computacional es importante para un complemento académico necesario para profundizar la motivación de los participantes (estudiantes y profesores) y así generar más expectativa de este tema (Salas, 2018). Estas actividades son de participación libre sin ninguna obligación académica por parte de la facultad, esto ayuda a tener predisposición de aprender cómo se puede introducir al modelamiento matemático para buscar y resolver algún problema de la vida real y además el proceso de construcción de un algoritmo computacional como también una secuencia de hipótesis para el modelo (Pino y Salazar, 2022).

Figura 5

Explicación de la representación matemática de las hipótesis del modelo matemático Lotka-Volterra

**Construcción del Modelo Matemático (Ecología)
(Variables y Parámetros)**

Se ha definido las variables (poblaciones ecológicas de los Conejos y los Zorros) y los parámetros (tasas ecológicas) según las hipótesis expresadas en (7) y (8).

- $+r_1C(t)$: **Reproducción** de la población de los Conejos (Forma Exponencial) en el tiempo.
- $-b_1C(t)Z(t)$: Interacción de cacería de parte de los Zorros hacia los Conejos causando **Depredación** en la población de los Conejos en el tiempo.
- $+b_2C(t)Z(t)$: **Crecimiento** de la población de los Zorros por parte de la cacería de los Conejos en el tiempo.
- $-r_2Z(t)$: **Decrecimiento** de la población de los Zorros (Forma Exponencial) en el tiempo.

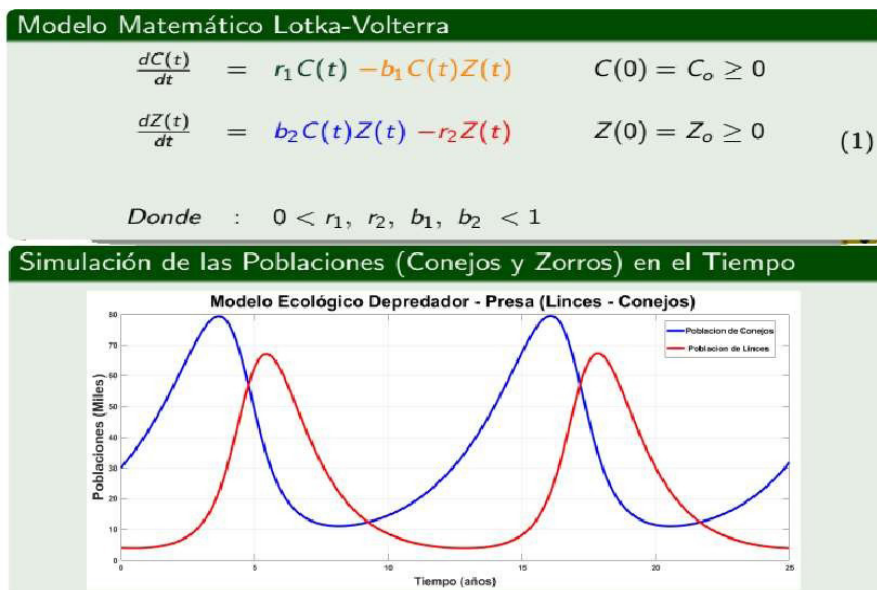
En la Figura 5 se presenta el enunciado de las hipótesis del modelo de Lotka-Volterra que está representado con colores resaltando su interpretación de cada término donde se acoplará en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias.

presenta un comportamiento oscilatorio en el cual está presente la convivencia de las dos especies y es la situación que se encuentra en la naturaleza. Esta demostración permite ahondar la creatividad y la noción de mejorar el modelo de tal forma que se pueda acercar más a la realidad que se está modelando (Pino y Salazar, 2022).

En la Figura 6, mostramos el clásico modelo depredador-presa básico donde se tiene la simulación computacional que

Figura 6

Exposición del Modelo matemático Lotka-Volterra y simulación computacional



Una de las anécdotas que siempre ha sucedido en la exposición de la simulación computacional viene a ser la mezcla entre zorros y lince (depredadores del conejo) donde uno comienza a modelar con las especies de zorros pero para la simulación se introduce los lince, y esto se explica que debido que se tiene los datos de los lince, según el reporte canadiense (1895-1925) realizado por Hudson Bay Company, nos permite simular mejor el modelo matemático debido que se tiene datos reales para poder validar el modelo; pero por otro lado, el modelo matemático en su esencia considera una especie depredadora del conejo (presa) y no importa que animal sea la depredadora siempre y cuando sea una especie depredadora (Murray, 2001).

Este detalle dinámico permite la generación de una apertura a ver más especies para el modelo. Sin lugar a duda, el compartir de las experiencias de como estudiantes quieren armar modelos matemáticos de una manera intuitiva como también profesores analizar las formalizaciones matemáticas del sistema de ecuaciones diferenciales (Canesche et al., 2021). Este complemento es uno de los pilares de la investigación científica donde la sinergia de los conocimientos y las experiencias crean proyectos de investigación (Pino y Acasiete, 2018).

Experiencias y conclusiones de los participantes de la actividad académica

Durante muchas de las actividades realizadas que han sido focalizadas al modelamiento matemático mediante ecuaciones diferenciales ordinarias han sido de un enorme aprendizaje sobre la didáctica de complementar la interacción y la abstracción para generar nuevas

propuestas de modelos matemáticos (Godino, 2010).

En este lineamiento muchos de los profesores mayores de matemática han tenido una formación teórica sin mucha aplicación en ciencias de la vida, por mientras que los estudiantes van aprendiendo los cursos de pregrado con la formalidad necesaria para analizar una función y con modelos matemáticos sencillos mediante funciones ya definidas; pero poco de cómo generar un modelo matemático como una propuesta para resolver un problema en específico (Malaspina, 2007). Por lo cual, en esta actividad se ha podido experimentar el complemento de dos generaciones que pueden trabajar para generar ciencia en las universidades peruanas desde una actividad sencilla y motivadora dándoles herramientas accesibles sin mucha inversión económica (Brito-Vallina et al., 2011).

La actividad realizada mediante forma presencial (antes de la pandemia) y de forma virtual (durante la pandemia) ha generado diversas experiencias e implicancias debido a la cercanía de los participantes mediante los grupos de trabajo. Pero fuera de la lejanía geográfica no ha quitado el interés y la participación de los profesores por la investigación, sino que han incrementado su motivación de aprender más sobre la tecnología; como también de los estudiantes que se han introducido a la programación computacional que vienen a ser un centro muy demandado en el campo laboral como científico que requiere conocimientos y técnicas para la resolución de problemas (Salas, 2018).

Los detalles sobre el impacto presencial y el impacto virtual siempre se han ido manejando como una alternativa nueva que se va cimentando en la mentalidad de las personas (Godino, 2010). Para el modelamiento matemático ayuda la cercanía de la exposición de las ideas frente a una pizarra que se vea plasmado las consideraciones tiene un soporte fundamental en la visualización de nuevas ideas de perturbación del modelo básico; esto permite la contrastación y debate de las ideas sobre los términos del sistema de ecuaciones (Pino y Salazar, 2022).

Por otro lado, la virtualidad ayudó en la masificación de la participación en las actividades académicas que no se podía en la presencialidad debido al aforo geográfico. Muchas de las herramientas informáticas aportaron para implementar nuevas perspectivas de transmisión y promoción del conocimiento y de la investigación, más aun, cuando la ciencia no podía parar en tiempos de incertidumbre (García y Conde, 2017).

Para finalizar, los comentarios y las conclusiones de cada participante que se recogieron mediante una encuesta anónima fueron muy gratificantes para ir corrigiendo errores y mejorando con cada actividad académica donde lo que más resaltaba era la apertura y la organización de las dinámicas para interactuar y compartir los conocimientos (Salas, 2018).

Un impulso enorme para conocer aplicaciones dinámicas e interactivas con la vida real tanto los profesores participantes como los estudiantes. Viendo nuevos horizontes de seguir una formación científica al servicio de la sociedad.

Discusión

La investigación sobre cómo se debe realizar una adecuada divulgación científica durante la pandemia ha sido motivo de organizar y realizar actividades académicas para poder introducir a las personas, especialmente a los más jóvenes, a la ciencia y que es necesario para el crecimiento de la sociedad (Brito-Vallina et al., 2011). Por lo cual, hay mucho por crecer de forma académica y científica para promover el incremento de las actividades donde se promueva la matemática como una ciencia que aporta enormemente la sociedad y poco a poco vaya dejando la concepción de solamente se hace operaciones en los cursos de matemática. Siempre la promoción de la ciencia será un baluarte para que la sociedad siga comprometiéndose con su propio crecimiento e integración de cada ciudadano (García y Conde, 2017).

Conclusiones

Por consiguiente, se puede concluir que la promoción del modelamiento matemático con un enfoque en el trabajo complementario de estudiantes de pregrado con los docentes puede generar trabajos de investigación con aplicaciones interesantes de crecimiento académico.

Así mismo, el complemento de una introducción al modelamiento matemático y computacional con un trabajo colaborativo de diferentes áreas siempre será un trabajo oportuno, aunque en muchos casos difícil por las diferentes perspectivas que la programación en la nube (Colab Python o RStudio Cloud) permiten poder

realizar trabajos colaborativos a distancia donde las generaciones académicas pueden converger para formar un trabajo colaborativo importante.

Por tanto, el modelamiento matemático orientado a las ciencias de la vida (ecología, epidemiología matemática) puede ser un punto de inicio sencillo y motivador donde la construcción de

modelos se torna un eje importante para el crecimiento académico y científico entre lo teórico y lo aplicado. Finalmente, la promoción de actividades académicas-científicas durante la pandemia abrió posibilidades de conexiones amplias debido a la virtualidad, pero también una mayor disposición y manejo de las herramientas informáticas para generar un entorno adecuado de aprendizaje.

Referencias

- Álvarez Valdivia, I. (2008). Evaluación del aprendizaje en la universidad: una mirada retrospectiva y prospectiva desde la divulgación científica. *Revista electrónica de Investigación Psicoeducativa*, 6(1), 235-272. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/508/Art_14_228.pdf?sequence=1
- Brito-Vallina, M. L., Alemán-Romero, I., Fraga-Guerra, E., Para-García, J. L. & Arias-de Tapia, R. U. (2011). Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Revista Ingeniería Mecánica*, 14(2), 129-139. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v14n2/im05211.pdf>
- Cabezas Rosa, L. (2020). *Propuesta didáctica de matemáticas durante la pandemia del COVID 19*. [Tesis de grado, Universidad de Almería, Facultad de Educación]. RiUAL. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/10080>
- Canesche, M., Bragança, L., Neto, O. P., Nacif, J. A. & Ferreira, R. (2021). Google Colab CAD4U: Hands-On Cloud Laboratories for Digital Design [conferencia]. *2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Daegu, Korea. <http://dx.doi.org/10.1109/ISCAS51556.2021.9401151>.
- Font, V., Planas, N. & Godino, J. D. (2014). Modelo para el análisis didáctico en educación matemática. *Journal for the Study of Education and Development*, 33(1), 89-105. <https://doi.org/10.1174/021037010790317243>
- García-Peñalvo, F. J. & Conde-González, M.A. (2017). *Diseminación y divulgación científica. Plan de Formación del Profesorado de la Universidad de León*. Grupo GRIAL. <https://repositorio.grial.eu/handle/grial/903>
- Godino, J. D. (2010). *Perspectiva de la didáctica de las matemáticas como disciplina tecnocientífica*. Universidad de Granada, Departamento de Didáctica de la Matemática. https://www.ugr.es/~jgodino/fundamentos_teoricos/perspectiva_ddm.pdf
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (1991).

- Metodologías de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana de México S.A. de C.V. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Liljedahl, P., Santos-Trigo, M., Malaspina, U. & Bruder, R. (2016). *Problem Solving in Mathematics Education*. Springer Nature. <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/27743/1002262.pdf?sequence=1>
- Malaspina, U. (2007). Intuición, rigor y resolución de problemas de optimización. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 10(3), 365-399. <http://www.scielo.org.mx/pdf/relime/v10n3/v10n3a4.pdf>
- Murray, J. D. (2001). *Mathematical Biology I: An introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <http://debian.if.ufrgs.br/pub/listas-sistdin/MurrayI.pdf>
- Pino Romero, N. (2017). La Matemática como herramienta para entender la Economía dentro de la perspectiva de investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Revista Pensamiento Crítico*, 22(1), 49-68. <https://doi.org/10.15381/pc.v22i1.14021>
- Pino Romero, N. & Acasiete Quispe, F. H. (2018). Percepción de la formación y exigencia académica de los docentes universitarios enfocada al impulso de la investigación científica. *Revista Pensamiento Crítico*, 23(2), 161-196. <http://dx.doi.org/10.15381/pc.v23i2.15811>
- Pino Romero, N. & Salazar Fernández, C.U. (2022). Modelo matemático de una cadena alimenticia depredador-presa: plancton-anchoveta. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 29(1), 69-103. <https://doi.org/10.15517/rmta.v29i1.43747>
- Salas-Rueda, R. A. (2018). Uso del modelo TPACK como herramienta de innovación para el proceso de enseñanza-aprendizaje en matemáticas. *Revista Perspectiva Educativa*, 57(2), 3-26. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-97292018000200003&script=sci_arttext&tlng=e
- Sánchez Fundora, Y. & Roque García, Y. (2011). La divulgación científica: una herramienta eficaz en centros de investigación. *Revista Bibliotecas. Anales de la investigación*, 7(7), 91-94. <http://revistas.bnjm.cu/index.php/BAI/article/view/315>
- Sierra Vázquez, M. (2011). Investigación en Educación Matemática: objetivos, cambios, criterios, método y difusión. *Revista Educativa Siglo XXI*, 29(2), 173-198. <https://revistas.um.es/educatio/article/download/133021/122721/511991>
- Soo Tang, T. (2019). *Matemáticas aplicadas a los negocios, las ciencias sociales y de la vida*. Cengage Learning Editores S.A.

