

FUNCIONALIDAD DE LA ESTABILIDAD EN BIOLOGÍA. UN ESTUDIO SOCIOEPISTEMOLÓGICO¹



Edgar Vázquez Grande, Francisco Cordero Osorio

evazquezg@cinvestav.mx, fcordero@cinvestav.mx

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Resumen

Se presenta un avance de una investigación que consiste en hacer un estudio socioepistemológico para caracterizar una justificación funcional del uso de la matemática en una situación de profesión cuyo dominio específico es la biología. Para ello se está creando un marco de referencia en el cual el uso de la estabilidad de una ecuación diferencial o de un sistema dinámico proporciona argumentos que hacen de la matemática una matemática funcional ya que ayuda a predecir el comportamiento de diversos fenómenos biológicos, como la resistencia viral y el comportamiento de la propagación del SIDA, fenómenos que comúnmente no son estudiados mediante este objeto matemático y que no tienen la intencionalidad de ser enseñados en el aula; y además ayuda a identificar funcionamientos y formas desde la biología y desde la matemática.

Palabras Clave

Funcionalidad, prácticas sociales, estabilidad, biomatemáticas.

Introducción

Se ha observado que la enseñanza de la matemática está ligada, en la mayoría de los casos, a la definición de conceptos, descripción de métodos y a la solución de un gran número de ejercicios, quizá esto sea el motivo por el cual los estudiantes comienzan a generar cierta apatía por la matemática y cuando se establece que la matemática es funcional en muchas de las actividades que realizamos día con día, los estudiantes simplemente lo niegan.

Es importante romper con este esquema basado en la centración de conceptos, hacer notar que antes de que los conocimientos emerjan debe haber un contexto y estudiar prácticas

¹ Esta investigación está financiada por CONACYT con el Proyecto *Estudio de las gráficas de las funciones como prácticas institucionales. Una gestión escolar para el Nivel Superior*. Clave: No. 47045

profesionales podría dar elementos que evidencien la construcción de conocimiento ya que es importante conocer por qué se hace lo que se hace desde el propio marco de referencia de quien actúa. La aproximación socioepistemológica, en consecuencia, ha creado un marco teórico que da cuenta de la construcción social del conocimiento matemático donde la organización de los grupos humanos, manifestada en prácticas sociales, es el principal reactor de esa construcción.

Un mecanismo del marco teórico consiste en postular que las prácticas sociales norman la construcción del conocimiento matemático lo que conlleva a estudiar cómo las producciones matemáticas varían según las características del grupo humano. Bajo este marco se considera relevante investigar a la modelación de la estabilidad de las ecuaciones diferenciales en una situación de profesión y caracterizar una justificación funcional de su uso, considerándose esta última como una categoría que hace referencia a que los mecanismos de desarrollo del uso del conocimiento en una situación específica son funcionales como contraparte de una justificación razonada, es decir lo que norma la justificación funcional no es una proposición lógica sino aquello que le es de utilidad a lo humano (Cordero y Flores, 2007).

Metodología

Debido al enfoque cualitativo de la investigación, se consideró pertinente el apoyo de la metodología etnográfica, la cual como se menciona en Woods (citado en García, 2008), se interesa por lo que la gente hace, cómo se comporta, cómo interactúa; se propone descubrir sus creencias, valores, perspectivas, motivaciones y el modo en que todo eso se desarrolla o cambia con el tiempo de una situación a otra. Todo desde el interior de un grupo y desde dentro de las perspectivas de los miembros del mismo.

De este modo, para observar una situación de profesión se pretende crear un marco de referencia. El camino que se ha convenido para tal fin es el siguiente: primero analizar la obra de un profesionalista del área biológica y caracterizar una justificación funcional del uso de la matemática; Hernández y Velasco (1999), Velasco (2000, 2006) fueron algunas de las obras

analizadas. Posteriormente, analizar su rol en la práctica profesional mediante el estudio de casos, la historia de vida, la observación, entrevistas y cuestionarios.

Resultados y discusión

En el ámbito escolar es común encontrar que la enseñanza y el aprendizaje de la estabilidad de una ecuación diferencial o de un sistema dinámico esta vinculada a la modelación matemática de algún fenómeno físico, químico, económico o biológico, sin embargo, la forma en que se presenta este objeto matemático es simplemente como una aplicación de la matemática en otra ciencia soslayando la idea de que la estabilidad puede ser una herramienta funcional en el estudio de algún fenómeno. Esto quizás este ligado a la forma en que se ha caracterizado el concepto de modelación.

Existe una concepción tradicional de lo que es modelación matemática y de lo que es un modelo matemático. De estas podemos destacar dos aspectos importantes, uno referente a que modelación es referida a establecer vínculos entre fenómenos, situaciones o problemas y otras construcciones, llamadas modelos, para diferentes fines; el otro aspecto que destacamos es que el modelo matemático, generalmente, se concibe como una ecuación o un sistema de ecuaciones. La idea que identifica los modelos matemáticos con las ecuaciones es ampliamente difundida en los medios escolares (Arrieta, 2003).

La aproximación socioepistemológica en consecuencia ha tomado diversos elementos de construcción del conocimiento que han llevado a considerar a la modelación como una práctica social. Suárez (2008) describe estos elementos de la siguiente manera:

- a) Nos interesa la matemática funcional, es decir aquel conocimiento matemático que deberá integrarse a la vida para transformarla, reconstruyendo significados permanentemente.
- b) El volumen y el carácter de los conocimientos adquiridos por el hombre vienen determinado por el nivel de desarrollo de las prácticas sociales, es decir, por el grado de su dominio sobre el mundo exterior.

- c) La construcción de conocimientos debe estar en correspondencia con la modelación y el uso de la matemática, es decir, con el lenguaje de herramientas que resulta de la actividad humana.
- d) El rediseño del discurso matemático escolar requiere de la formulación de nuevas epistemologías, basadas en las prácticas sociales.

Es así como a través de la noción de práctica social se intenta privilegiar el trabajo del humano en la construcción del conocimiento, indicando que los objetos no surgen individualmente, sino emergen como organizaciones de grupos humanos que reconocen útil al conocimiento, y por ende, hacen que se transmita por generaciones, de esta forma se transforma en un material continuo (García, 2008).

La comunidad de biólogos es un ejemplo en donde además de hacer de la matemática útil en sus investigaciones, la ha hecho funcional, el conocimiento lo ha incorporado orgánicamente de modo que lo transforma y transforma su realidad. La relación que existe entre la matemática y otras ciencias, en una situación de profesión, cada vez es más notoria, ya que la matemática es utilizada como una herramienta que ayuda resolver un problema o hasta como una metodología. Sin embargo, la relación que se ha establecido entre la matemática y la biología ha sido tal que recientemente se estableció una nueva disciplina, la biomatemática o biología matemática.

Para fines de la investigación, se decidió analizar la práctica de un investigador biólogo interesado en el estudio de fenómenos biológicos desde una perspectiva matemática, él presenta un interés particular en el desarrollo de modelos matemáticos de procesos biológicos, particularmente en ecología de poblaciones, epidemiología de enfermedades infecciosas y estructura y dinámica de consorcios bacterianos de importancia en la industria petrolera cuya finalidad es entender cómo éstos se integran y estructuran y qué factores determinan su extinción. Además de esto, se ha dado a la tarea de difundir y opinar acerca del desarrollo que ha tenido la biología matemática, hecho que permitió que se realizara un estudio de sus producciones escritas.

Análisis de las obras. Es interesante observar que la relación que existe entre la matemática y la biología surgió desde hace mucho tiempo, cuando pensadores como Malthus en el siglo XVIII, Verhulst en el siglo XIX y Vito Volterra en el siglo XX, matemátizan algunos conceptos y procesos biológicos (Hernández y Velasco, 1999); actualmente existen diversas investigaciones que hacen uso de objetos matemáticos, como la estabilidad, para explicar alguna situación o predecir comportamientos específicos tales como el crecimiento de alguna planta por medio del modelo de Von Bertalanffy, la propagación de alguna enfermedad a través de los modelos SIR, SEIR, SIS, o la interacción de dos especies con el modelo Depredador-Presa; cabe mencionar que existen modelos que se asemejan cada vez más a la realidad, sin embargo, en la naturaleza existen factores que impiden que el modelo sea totalmente eficaz, debido a esto, existen científicos del área biológica que sostienen la teoría de que la matemática es una herramienta, útil pero no única, que ayuda a sus estudios.

Lo anterior llevo al análisis de una Alternancia de Saberes que existe entre estas dos ciencias; según Velasco (2000) la aplicación de las matemáticas a la biología se ha dividido en dos partes tal y como se muestra en la figura 1, la aplicación rutinaria se refiere a aquellas técnicas que se presentan comúnmente en la matemática escolar y, los nuevos métodos hacen referencia a que en la actualidad existen cada vez más estudios que hacen uso de la modelación como metodología la cual ayuda a dar respuesta a un problema real de la biología.

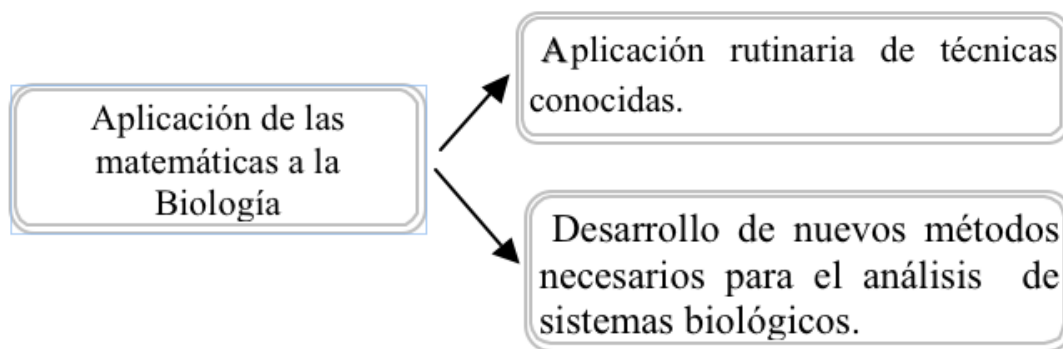


Figura 1.

A pesar de esto, construir un modelo y analizarlo no significa hacer biología, es necesario considerar otros elementos propios de la naturaleza del fenómeno (Velasco, 2006) por lo que la matemática será comparada con un microscopio metodológico ya que esta permitirá describir, explicar o predecir fenómenos de naturaleza biológica y, así como existe gran variedad de microscopios, por ejemplo el ultravioleta, el infrarrojo y el óptico, también existe una amplia gamma de objetos matemáticos que pueden ser usados para resolver un problema, como es el caso de la estabilidad.

También, como resultado del análisis de las obras, se ha logrado establecer una epistemología de modelación de un fenómeno biológico el cual consiste en tres categorías que son caracterizadas de la siguiente manera:

- **Análisis de la Información.** Patrón de tareas en el cual se recopilan, organizan, comparan e interpretan datos e información del fenómeno en tablas y gráficas (Flores, 2005).
- **Análisis de Comportamientos.** Patrón de tareas en el cual se establecen compartimentos del fenómeno y se analizan y determinan comportamientos de cada uno de ellos.
- **Análisis de Estructuras.** Patrón de tareas en el cual se altera algún compartimiento del fenómeno y se analizan los efectos en el sistema.

El diseño de la entrevista. Una vez terminado el análisis de las obras, se diseñó una entrevista con base a los elementos que se han encontrado hasta el momento. La entrevista consistió en 3 actividades, en la primera se preguntan aspectos propios de la relación que existe entre las dos ciencias, la matemática y la biología; en la segunda parte se le preguntan aspectos propios de la modelación de un fenómeno para un biólogo y en la última parte se preguntan algunos detalles de carácter gráfico.

Resultados de la entrevista. La propagación de enfermedades fue el tema que más resalto durante la entrevista. El siguiente fragmento describe la forma en que un biólogo determina el índice de propagación del SIDA en homosexuales, en él están presentes aspectos propios de la categoría de análisis de compartimientos.

JV: En el SIDA, para homosexuales, el, es simple y sencillamente el número, la tasa de cont..., el número de contactos sexuales que tiene per capita un infeccioso por la probabilidad de que ese contacto resulte en infección por el tiempo de duración del periodo de infección, ese es el número para enfermedades de transmisión directa...

$$R_0 = \beta\phi D$$

Posteriormente, haciendo uso de la matemática como metodología, se puede observar claramente en la Figura 2 que esta presente también un análisis de comportimientos, y se obtiene un número reproductivo básico distinto al que puede desarrollar un biólogo.

$$R_0 = \frac{\beta}{\mu + \gamma}$$

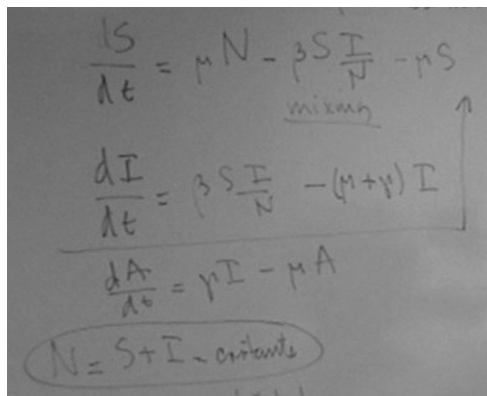


Figura 2. Modelación de la transmisión del SIDA desde la matemática.

En la figura 3, se puede observar la dinámica de transmisión de una enfermedad, por medio del piquete de un mosquito, utilizada comúnmente en biología. En ella se pueden distinguir tres aspectos, primero se tienen que determinar algunos parámetros como la tasa de picada, las probabilidades de infección y los índices de muerte; segundo, se determina la forma en que se construye la fórmula para obtener R_0 , según la razón geométrica; y tercero, las modificaciones que se puedan hacer para obtener una mejor aproximación de R_0 , el número reproductivo básico.

Cuando se usa a la matemática como metodología para analizar el mismo fenómeno, plantear un sistema de ecuaciones, tal y como se ve en la figura 4, y analizar su comportamiento son actividades que se tienen que realizar y obviamente con este método no se obtendrían los mismo resultados que en el método anterior pero lo que es un hecho es que ambas metodologías siguen la epistemología de modelación creada.

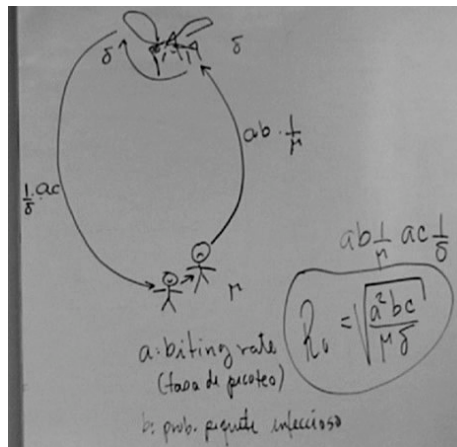


Figura 3. Modelación de la transmisión de una enfermedad por vectores desde la Biología.

$$\frac{dS}{dt} = ab(1-S)I - \delta S$$

$$\frac{dI}{dt} = ac(1-I)S - \mu I$$

Figura 4. Modelación de la transmisión de una enfermedad por vectores desde la Matemática.

El concepto de *modelación* también causó controversia ya que presentó distintas concepciones.

En la biología:

JV: ¿Cuáles son los modelos importantes en esta área? Los modelos animales, el ratón, fundamentalmente el ratón, la drosophila...

JV: ... porque con esos los puedes agarrar, los puedes alterar, puedes cambiar genes, puedes cambiar hormonas, y puedes ver como resulta el cambio de forma, la generación de otra antena, el cambio de sexo, lo que quieras...

En la matemática:

JV: ... la primera critica es bueno lo que saque del ratón para servir para ese ratón y si lo hago en diez ratones pues en 10 ratones y además va a ser estadísticamente, y si lo generalizo para más y para llevarlo a, a como se genera mi forma pues, pues no puede ser ¿Qué necesitas? un modelo general que sirva para todo,...

Conclusiones

La matemática, sin duda, la utilizamos en todo momento y en todo lugar, sin embargo, la funcionalidad de la matemática no es aceptada o identificada en muchas ocasiones. Con la

investigación se da una pequeña muestra de cómo la matemática es funcional en las actividades que realiza un profesionalista con una formación en el área biológica, de cómo se hace uso de la estabilidad para dar una solución a un problema específico, con la característica de que hacer uso de la matemática no es su principal objetivo.

Los fenómenos principales que se identificaron y analizaron en las obras del biólogo que se entrevistó fueron la resistencia viral y la propagación del SIDA, gracias al estudio de estos fenómenos los resultados que se han obtenido son: la construcción de una epistemología del uso de la modelación de la estabilidad en biomatemáticas, la cual consta de 3 categorías: análisis de la información, análisis de comportamientos y análisis de estructuras; además, se pudo observar que existen funcionamientos y formas, que ayudan a explicar el comportamiento de determinado fenómeno.

Se ha observado también que el binomio modelación –graficación tiene un papel relevante en la estabilidad ya que, como se menciona en Cordero (2006), además de ser una herramienta que ayuda a hacer representaciones adecuadas y eficientes de cada una de las situaciones es una práctica que trasciende y se resignifica. Ejemplos de esto, se encuentran en Biología de Poblaciones donde existen diversas investigaciones que utilizan el modelo Lotka-Volterra para explicar el comportamiento de dos especies bajo el efecto de algún fenómeno, como el efecto Allee o en Epidemiología en el estudio de la propagación del virus del SIDA bajo el efecto de alguna droga. En estas investigaciones, el uso de las gráficas es de gran importancia para determinar el comportamiento del fenómeno por lo que aquí la funcionalidad de la matemática igual está presente.

Con lo anterior, se da evidencia de que los conceptos surgen dependiendo del contexto, que ninguno de los fenómenos biológicos anteriores está presente en un aula de clases, sin embargo para mejorar la enseñanza – aprendizaje de la matemática es necesario cambiar este hecho para hacer que los estudiantes, y las personas en general, consideren a la matemática una matemática funcional y no, en el mejor de los casos, una matemática útil.

Bibliografía

Arrieta, J. (2003). *Las prácticas de modelación como proceso de matematización en el aula*. Tesis de Doctorado no publicada. Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav-IPN.

Cordero, F. (2006). *El uso de las Gráficas en el Discurso del Cálculo Escolar. Una visión Socioepistemológica*. En Cantoral, R., Covian, O., Farfán, R. M., Lezama, J., y Romo, A. (1ª. Edición). *Investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: Un reporte Iberoamericano*. pp. 265- 286. México: Reverté.

Cordero, F. y Flores, R. (2007). El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar. Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de los libros de texto. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*. 10(001), 7-38.

Flores, R. (2005). *El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar. Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de los libros de texto*. Tesis de Maestría no publicada. Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav-IPN.

García, E. (2008). *Un estudio sobre los procesos de institucionalización de las prácticas en ingeniería biomédica. Una visión socioepistemológica*. Tesis de Maestría no publicada. Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav-IPN

Hernández, G. y Velasco, J. (1999). *El manantial escondido, un acercamiento a la biología teórica y matemática*. México: Fondo de Cultura Económica.

Suárez, L. (2008). *Modelación – Graficación, Una categoría para la matemática escolar. Resultados de un Estudio Socioepistemológico*. Tesis de Doctorado no publicada. Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav-IPN.

Velasco, J. (2000). El gene, la forma, el virus y la idea: una perspectiva personal de la biología matemática. *Miscelánea Matemática*. 32, 5-38.

Velasco, J. (2006). Sobre la biología matemática y el papel de las matemáticas en la biología. *Revista Ciencia de la Academia Mexicana de Ciencias*. 58(3), 14-20.