
Consideraciones metodológicas acerca de la Matemática detrás de la COVID-19

Methodological considerations about the Mathematics support COVID - 19

Carlos Beltrán Pazo¹

Zoraida Suárez Luque²

Dania Elena Beltrán Rojas¹

¹Universidad de Guantánamo. Cuba.

²Centro: Policlínico “Omar Ranedo Pubillones”. Guantánamo. Cuba.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3804-4159>

<https://orcid.org/0000-0003-1234-8779>

<https://orcid.org/00000-0001-7399-4569>

Correo electrónico:

beltranpazo@gmail.com

zoraidasuarez786@gmail.com

danialena@cug.co.cu

Recibido: 14/03/2021

Aceptado: 22/07/2021

Resumen: Es objetivo de este trabajo mostrar la utilidad de la Matemática para resolver, interpretar y modelar problemas asociados a la COVID-19; mostrar las lagunas en la preparación matemática de los profesionales de esta disciplina para enfrentar estos retos. Esto se logra a partir del uso de métodos como el análisis-síntesis y la modelación. Quedando por resolver, la necesidad del profesional de la Matemática para insertarse en la solución y/o interpretación de problemas que surgen en la medicina, y la urgencia creciente de soluciones matemáticas para resolver, modelar e interpretar problemas no matemáticos.

Palabras clave: Modelación matemática; Covid-19; Educación matemática; Modelo SIR.

Abstract: The objective of this work is to show the usefulness of Mathematics to solve, interpret and model problems associated with COVID-19; show the gaps in the mathematical preparation of professionals in this discipline to face these challenges. This is achieved with the use of methods such as analysis-synthesis and modeling. Remaining to be solved, the need of the Mathematics professional to be inserted in the solution and / or interpretation of problems that arise in medicine, and the growing urgency of mathematical solutions to solve, model and interpret non-mathematical problems.

Keywords: Mathematical modeling; Covid-19; Mathematics education; SIR model.

Introducción

Pareciera ser que al médico le haría falta sólo la Matemática básica que se estudia en la escuela. En definitiva, para contar pacientes y saber el gramaje de Amoxicilina que necesita un paciente por día, alguien pudiera pensar que es suficiente la matemática más básica. Y

nada más alejado de la verdad. Muchos son los ejemplos de la necesidad de la Matemática para estos especialistas. Un ejemplo en estos tiempos es el estudio de las pandemias, donde ni siquiera basta con la estadística básica, se requieren de herramientas más poderosas. Predecir el comportamiento de la enfermedad, implica mayores conocimientos, pero menos gastos en todos los sentidos.

Y también pareciera ser que a un matemático no le harían falta los conocimientos de la medicina, pero por reciprocidad, no es así. Un matemático no puede ofrecer un modelo para predecir el comportamiento estadístico de una enfermedad sin conocer muchas de sus aristas y el trabajo epidemiológico que hay detrás de ella. Aunque en la vida real es cierto que la Matemática y la Medicina han recorrido caminos divergentes durante muchos años.

Esto es debido a que la Matemática utiliza una metodología muy diferente a la Medicina. La colaboración entre las mal llamadas ciencias duras (Matemática) y las mal llamadas ciencias blandas (Medicina), es lo que ha provocado y fomentado su desarrollo mutuo.

Ahora es esencial comprender que la “invisibilidad” que muchos atribuyen a la matemática en estos procesos, se debe a que en muchas ocasiones el mérito no se encuentra en la solución numérica obtenida de un problema médico dado, sino en la interpretación del resultado y la reformulación de los problemas médicos, pasando de una forma observacional y cualitativa, a otra modelable y cuantitativa, que permite hacer predicciones esenciales para el desarrollo de la Medicina y para la toma de decisiones ante situaciones emergentes, como las que se viven hoy.

A estas conclusiones han llegado muchos investigadores, entre ellos García Piñera (2014), que propone modelos de ecuaciones diferenciales para la propagación de enfermedades infecciosas, Wilches Visbal y Castillo Pedraza (2020) que proponen una aproximación matemática del modelo epidemiológico SIR para la comprensión de las medidas de contención contra la Covid-19, Nicolás Bacaer (2020) con un modelo matemático de la epidemia de coronavirus en Francia, Bianco y Cruz (2020) con una propuesta de modelo epidemiológico SIR: una aplicación de las ecuaciones diferenciales al SARS-CoV2 (COVID-19). En Cuba se destacan investigadores como Álvarez Mora y Días Rodríguez (2021), que

estudian los Modelos matemáticos aplicados a la Epidemiología, Abelló Ugalde, Guinovart Díaz, Vidal Ledo, Baldoquín Rodríguez y Morales Lezca, entre otros (2020-2021), todos científicos cubanos enfrentados desde la Matemática y otras ciencias a esta pandemia de la COVID-19.

Quedan aún algunas lagunas por franquear en la Educación matemática de los futuros profesores de esta disciplina en Guantánamo. La primera radica en la respuesta a la cuestión respecto a la preparación de estos profesionales para los análisis estadísticos y modelaciones que se requieren en estos tiempos, e incluso para interpretar los resultados ya obtenidos por la ciencia; la segunda radica en la disposición del Plan de estudio E para la carrera Licenciatura en Educación. Matemática para ayudar, desde las asignaturas de los currículos base y propio, a los profesionales que se forman a insertarse en esta vorágine de informaciones, elaboraciones, interpretaciones y modelos.

A la interpretación de estos autores, sin pretender ser absolutos, hoy la formación del profesor de Matemática en la Universidad de Guantánamo dista bastante de esta cuestión, quedando un problema serio por resolver y que radica en cómo intervenir en la solución de la dicotomía: necesidad del profesional de la enseñanza de la Matemática para que desde sus competencias profesionales pueda insertarse en la solución y/o interpretación de problemas que surgen en el día a día en otras ciencias, como la medicina, por ejemplo, y la urgencia creciente de soluciones matemáticas que permitan resolver, modelar e interpretar problemas no matemáticos.

Es objetivo de este trabajo revelar dos aristas de ese mismo problema: mostrar la utilidad de la Matemática para resolver, interpretar y modelar problemas asociados a la pandemia de la COVID-19; mostrar las lagunas en la preparación matemática de los profesionales de esta disciplina para enfrentar los retos antes mencionados.

Desarrollo

1. Sobre Matemática y sus modelos

Un modelo matemático es una representación de un fenómeno del mundo real, desde las teorías matemáticas, conllevando a la llamada, a veces injustamente, matematización de la sociedad.

Esta modelización funciona de la siguiente manera, según Álvarez Mora (2021) y algunas consideraciones que realiza el autor de este artículo:

1. Se interpreta la realidad observable o fenómeno que se desea estudiar.
2. Se formula un modelo matemático tomando como punto de partida el problema concreto.
3. Se aplica la matemática identificada al modelo matemático que se ha formulado para llegar a conclusiones matemáticas.
4. Se representan las conclusiones matemáticas y sus significados clínicos y/o biológicos.
5. Se comprueban las predicciones comparándolas con la situación inicial y usando nuevos datos reales, lo que establecería la adecuación y ajuste del modelo.

Como en todo problema que se resuelve, la no coincidencia de las conclusiones matemáticas obtenidas y las realidades del problema inicial o con nuevas realidades a partir de nuevos datos reales, implicaría la revisión de todo el proceso anterior e incluso, la reformulación o reinicio del modelo o el ciclo.

En lo referente al estudio epidemiológico, Vidal Ledo (2020), explica los procedimientos antes descritos de la siguiente manera:

1. La comprensión y apreciación del fenómeno que se va a modelar.
2. La representación matemática de los componentes esenciales del fenómeno.
3. El hallazgo de soluciones útiles, expresadas de manera cuantitativa.
4. La interpretación biológica de los resultados matemáticos en términos visibles y predicciones.
5. La comparación con resultados experimentales o la observación práctica.

Se coincide con Álvarez Mora (2021) en que un modelo matemático nunca es una representación completamente exacta de una situación física; es una idealización. Los autores de este artículo agregan que es ahí donde radica su principal limitación y la incomprensión de muchas de las fallas en sus predicciones. En un buen modelo la realidad se simplifica lo

suficiente para permitir los cálculos matemáticos, pero incluso así, es bastante exacto para permitir conclusiones valiosas.

Es importante comprender que modelar matemáticamente un fenómeno permite predecir el desarrollo completo de la epidemia, no puede reproducir con exactitud la realidad captada, pero sí da una estimación que facilita dirigir las políticas en pos de amortizar las pérdidas de vidas, así como la organización de los recursos si se toman las adecuadas.

Estos modelos compartimentales pueden estudiar la acción de los medicamentos, las medidas terapéuticas, las acciones de control y administrativas para orientar sobre aquellos temas más urgentes en pos de controlar la infección.

2. Muy breve sobre matemática

A continuación se da respuesta a la interrogante ¿cuál matemática usar?

Depende, por ejemplo, del problema a tratar. Si se trata de determinar la linealidad de ciertos procesos, basta con el empleo de ecuaciones lineales o de sistemas de ecuaciones lineales; si es el estudio de fenómenos meteorológicos, basta con el uso de elementos de las probabilidades.

Pero existen otros fenómenos cuya esencia está en la rapidez de la variación de las variables que en él intervienen. Y es que muchos de los fenómenos que nos rodean están sometidos al cambio, a la velocidad de variación. En muchas investigaciones médicas es frecuente recurrir a los modelos matemáticos, en los cuales la clave está en el cambio. Entonces la matemática que se puede aplicar es mucho más compleja y está vinculada al cálculo diferencial.

Si $y = f(t)$ es una función que relaciona la variable y con la variable t , entonces su derivada es: $y' = \frac{dy}{dt}$

¿Dónde está la utilidad de esta ecuación para estudiar fenómenos que implican movimiento temporal o velocidad del cambio? Es que esta ecuación indica la tasa de cambio o velocidad de cambio de la variable y con respecto a la variable t . En cualquier lugar donde se lleve a cabo un proceso que cambie continuamente en relación al tiempo, suele ser apropiado el uso de ecuaciones diferenciales.

Un detalle importante es que las soluciones de una ecuación diferencial son funciones. Su interpretación, análisis y representación geométrica adecuados es lo que permite conocer el acercamiento del modelo a la realidad de la situación inicial dada.

3. Matemática, covid-19 y el modelo sir

Pandemias han existido muchas en la historia de la humanidad. Algunas se describen en la Biblia (Isaías 37:36-38, Éxodo 9:9), y ahí mismo la Biblia ya recogía varias prácticas sanitarias para prevenir el contagio, como el lavado de manos y alimentos y el aislamiento de los enfermos.

Según García Piñera (2014), tras los grandes avances, se creía que las enfermedades infecciosas pronto serían erradicadas, pero, no ha sido así. Los microorganismos se adaptan y evolucionan y como consecuencia aparecen nuevas enfermedades infecciosas y reemergen algunas que se consideraban controladas, extendiéndose por nuevas regiones. Además el genoma de algunos microorganismos a veces puede cambiar ligeramente y, como consecuencia, pueden adquirir resistencia a algunos medicamentos.

Ya hace más de un año que el mundo entero sufre una pandemia, que ha repercutido en todo el mundo, en su economía, en un cambio radical de las relaciones sociales, en el mercado laboral, entre otras cuestiones. La enfermedad se llama COVID-19 (*Coronavirus Infectious Disease - 19*) que produce un grave síndrome respiratorio y es producida por el virus llamado SARS-CoV-2 (*severe acute respiratory síndrome coronavirus-2*) y se ha extendido por todos los países. Cuba no fue una excepción. Su complejidad radica en sus características: pacientes asintomáticos o con síntomas leves respiratorios a una neumonía viral grave, insuficiencia respiratoria, disnea, fracaso multiorgánico y muerte.

Es una enfermedad bastante contagiosa que ha producido un colapso de los sistemas sanitarios de países desarrollados o no. Dentro de los factores que contribuyen a esta fácil diseminación se puede citar: la resistencia del virus en el ambiente, las infecciones no documentadas, la falta de tratamiento efectivo, la presencia de superdiseminadores, la falta de medidas adecuadas en salud pública o su implementación tardía y además que toda la población es susceptible.

En Cuba, en sus inicios, según Vidal Ledo (2020), existían tres escenarios probables:

1. Existen posibilidades de que la pandemia sea muy severa en el país, lo cual colapsaría el sistema de salud por la cantidad de camas y equipamiento que se necesitaría.
2. La única forma de evitar el contagio y avanzar hacia un escenario más favorable, depende de las acciones del Gobierno, pero, sobre todo, de la capacidad de la población de cumplir las medidas de aislamiento social.

Se predijo, con ayuda de la ciencia, que si se cumplían los protocolos establecidos, el pico hospitalario se alcanzaría en la primera quincena de mayo y que el período de duración de la enfermedad se podría extender hasta por cuatro meses. La enfermedad no duró 4 meses, los picos previstos se han desfasado en el tiempo, etc.

Pero es conveniente ahora analizar la aplicación de algunos modelos en el estudio de esta pandemia. En el marco de este artículo, se describe teóricamente la matemática que sustenta al modelo matemático denominado SIR^* y su interpretación del comportamiento de la pandemia producida por el nuevo Coronavirus.

El modelo SIR describe la evolución de una epidemia en una población a partir de ciertas condiciones iniciales. En particular, se considera un enfoque determinístico para explicar y predecir el comportamiento de la pandemia de la COVID-19, dado que a partir de este modelo es posible controlar todos los factores que intervienen y predecir sus resultados con mayor exactitud, bajo el supuesto un solo sujeto causa una epidemia generalizada.

A través de este se describe la dinámica de los contagios en una población cerrada con (N) individuos que inicialmente son susceptibles (S), y a partir de un infectado inicial, pasando con una determinada velocidad de contagio al siguiente estadio, el de infectados (I), y tras un

* SIR son las iniciales de los compartimentos en que se divide la población para su estudio: S-Susceptibles, I-Infectados, R-Recuperados. El modelo SIR fue formulado en 1927 por Kermack-McKendrick y se basa en un sistema ecuaciones diferenciales, las que constituyen una herramienta fundamental en la modelización de procesos biológicos mediante variables y parámetros.

período de enfermedad activa (t), los pacientes fallecen o se recuperan, es decir que pasan al estado de retirados[†] (R).

Y bien, el modelo SIR es un modelo compartimental porque divide a la población en 3 compartimentos:

1. $S(t)$: Representa al número de individuos susceptibles, individuos sanos que al entrar en contacto con la enfermedad pueden resultar infectados, en función del tiempo.
2. $I(t)$: Representa al número de individuos infectados, individuos que pueden transmitir la enfermedad al grupo $S(t)$, en función del tiempo.
3. $R(t)$: Representa al número de individuos retirados, individuos que se han recuperado de la enfermedad y se han vuelto inmunes o han muerto, en función del tiempo.

El modelo SIR se basa además en las siguientes hipótesis:

1. La población se mantiene constante, es decir, no se tienen en cuenta los nacimientos y muertes que se producen a lo largo del desarrollo de la enfermedad.
2. Si se denota por N a la población total de individuos, se tiene que la suma del número de individuos de cada uno de los 3 grupos es igual al total de la población:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) \quad (1)$$

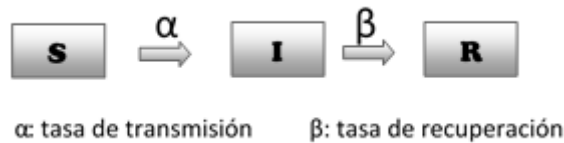
3. La enfermedad se transmite por contacto directo entre las personas.
4. En cuanto un individuo es infectado pasa a estar en el grupo de los infectados.
5. Los individuos del grupo $I(t)$ se acaban recuperando de la enfermedad y adquieren la inmunidad o mueren (pasando en ambos casos al grupo $R(t)$).
6. La tasa de infección, que determina el número de individuos por unidad de tiempo que se transfieren del compartimento de susceptibles al de infectados, es proporcional al producto $S(t) \cdot I(t)$.

Es importante destacar que, para este modelo en su versión determinística, los infectados se recuperan con el tiempo, con un parámetro β denominado tasa de recuperación que depende

[†] En algunas de las literaturas consultadas y que aparecen en esta obra, R se entiende como número de personas recuperadas. Si esto fuera así, entonces no se tendrían en cuenta los fallecidos por la enfermedad, por eso en el marco de este artículo se considera que R indica la cantidad de personas que pasan a ser Retirados: fallecidos o recuperados.

del tiempo que suele durar la enfermedad; una vez que se recuperan, los individuos son inmunes, ya no vuelven a ser susceptibles. En el estado **R** no solo están contemplados los individuos que se recuperan, sino también los que fallecen a causa de la enfermedad, ya que en ambos casos no afectan al desarrollo de la epidemia. El esquema que representa el modelo se observa en la Figura 1.

Figura 1: Esquema del modelo SIR



Fuente: Elaboración propia

Bianco y Cruz (2020), resumen que para el análisis matemático se deben considerar otras premisas que simplifican el modelo:

1. Todos los individuos son susceptibles. Es decir, todos los individuos tienen las mismas probabilidades de contagiarse, situación que aplica en nuestro contexto actual al inicio de la pandemia.
2. En la epidemia/pandemia, una sola infección es la responsable de ocasionar un proceso infeccioso en otro individuo cercano, de allí la importancia del R_0 .
3. La tasa de contagio $c(t) = \alpha \frac{i(t)}{N}$ con $\alpha > 0$ es proporcional a la probabilidad de contraer la enfermedad.
4. La razón de cambio de la población susceptible a infectados aumenta a una tasa proporcional a la tasa de contagio y al número de susceptibles: $\alpha s(t) \frac{i(t)}{N}$, con una constante de proporcionalidad $\alpha > 0$ que se denomina velocidad de infección.
5. El número de susceptibles $s(t)$ disminuye con la misma tasa y al transcurrir un tiempo Δt será:

$$s(t + \Delta t) = s(t) - \alpha s(t) \frac{i(t)}{N} \Delta t \quad (2)$$
6. Los individuos son removidos de la clase de infectados a una razón proporcional al tamaño de la clase I , con una constante de proporcionalidad $\beta > 0$ que se denomina velocidad de recuperación.

7. La tasa de recuperación de infectados es proporcional al número de infectados: $\beta I(t)$.

8. El número de infectados $i(t)$ al transcurrir un tiempo Δt será:

$$i(t + \Delta t) = i(t) + \alpha s(t) \frac{i(t)}{N} \Delta t - \beta i(t) \Delta t \quad (3)$$

9. Y el número de recuperados será, al transcurrir un tiempo Δt :

$$r(t + \Delta t) = r(t) + \beta i(t) \Delta t \quad (4)$$

10. El tiempo de incubación es corto, lo que implica que un susceptible, cuando se infecta, inmediatamente se vuelve infeccioso.

Establecido el comportamiento de las diferentes clases, éste se traduce en ecuaciones diferenciales las cuales determinan el flujo entre estados de cada clase en cualquier período de tiempo. Así queda el modelo descrito a partir del siguiente sistema de ecuaciones

diferenciales ordinarias:

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = -\alpha s(t) \frac{i(t)}{N} & (5) \\ \frac{di}{dt} = \alpha s(t) \frac{i(t)}{N} - \beta i & (6) \\ \frac{dr}{dt} = \beta i(t) & (7) \end{cases}$$

Ahora, para continuar con su solución, es necesario normalizar las variables, dividiendo cada una de las ecuaciones por el total de la población N : $S(t) = \frac{s(t)}{N}; I(t) = \frac{i(t)}{N}; R(t) = \frac{r(t)}{N}$

Se deriva respecto de t en ambos miembros de cada una de las expresiones anteriores y se efectúan los reemplazos necesarios utilizando las expresiones (5), (6) y (7):

$$\begin{cases} S'(t) = \frac{dS}{dt} = \frac{1 \cdot ds}{N \cdot dt} = -\alpha S(t), S(0) = S_0 & (8) \\ I'(t) = \frac{dI}{dt} = \frac{1 \cdot di}{N \cdot dt} = \alpha S(t)I(t) - \beta I(t), I(0) = I_0 & (9) \\ R'(t) = \frac{dR}{dt} = \frac{1 \cdot dr}{N \cdot dt} = \beta I(t), R(0) = R_0 & (10) \end{cases}$$

Las ecuaciones obtenidas forman un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que se conoce como modelo clásico de Kermack - McKendrick con las siguientes condiciones iniciales: $S(0) = S_0 = N - I_0 > 0; I(0) = I_0 > 0; R(0) = 0$

Donde S_0 , I_0 y R_0 es el número inicial de personas susceptibles, infectadas y retiradas respectivamente, de una población de N habitantes.

Ahora vienen interpretaciones importantes para el análisis epidemiológico del comportamiento de la pandemia. En las ecuaciones (8), (9) y (10) se tiene:

- $-\alpha SI$: Indica la velocidad a la que disminuye el número de susceptibles, dado que aumenta el número de infectados.
- $\alpha SI - \beta I$: Expresa la velocidad a la que se incrementa el número de infectados.
- βI : Expresa la velocidad de incremento del número de recuperados.

Muchas otras cuestiones son esenciales para la predicción que se necesita mediante la aplicación del modelo. Algunas de ellas son las siguientes:

- a) Si la infección se va a propagar o no.
- b) En el caso que se propague, cómo se va a desarrollar en el tiempo y cuándo va a empezar a disminuir.
- c) Cuál será el número máximo de Infectados.
- d) Cuál será el número total de Infectados.
- e) Cuál será el número total de Recuperados

Pero realmente estos aspectos desbordan las intenciones de este artículo.

Para poder dar respuesta a estas cuestiones es necesario conocer los parámetros del modelo α , β y las condiciones iniciales S_0, I_0 , el número de recuperados se puede deducir posteriormente de la igualdad $S + I + R = N$.

A continuación se simula con ayuda del GeoGebra las soluciones halladas en un período de tiempo determinado, siguiendo las ecuaciones dadas por el modelo SIR bajo distintos escenarios a partir del conocimiento de los parámetros α , β y las condiciones iniciales: el tamaño de la población y el número de infectados, tomando en consideración que este modelo considera que toda la población es susceptible de contagio.

Apartados un tanto de la matemática, sólo por simplificar, a continuación se hace una estimación de los parámetros α y β .

En el momento inicial de los contagios, I es pequeño, por eso es que por la ecuación (9) se tiene:

$$\alpha \approx \frac{I'(t)}{S(t)I(t)} \quad (11),$$

donde $I'(t)$ se puede aproximar por el cociente: $I'(t) = \frac{I(t)-I_0}{1} \quad (12)$

Existe una forma sencilla de obtener una estimación inicial del parámetro β . Debe tenerse en cuenta que el inverso de la tasa de retiro se puede interpretar como el tiempo aproximado de duración de la enfermedad. Por eso, el tiempo de recuperación de los infectados es aproximadamente $\frac{1}{\beta}$, que en numerosos casos, como en el caso de la Covid-19 que es conocido, y es igual, según las indicaciones médicas, aproximadamente a 14 días.

Así: $\frac{1}{\beta} \approx 14$, y $\beta \approx 0.0714$.

En primer lugar, se ha simulado la evolución del COVID-19 en una región con una población de 10000 habitantes, donde el número inicial de infectados es de 10 personas.

La carrera de Licenciatura en Educación. Matemática, en Guantánamo y la Matemática del coronavirus

En Guantánamo la situación es bastante compleja respecto a la estadística del coronavirus. Muchas veces falta inmediatez de la información, otras veces las interpretaciones que se hacen de esta información no son las más adecuadas. Y se depende, de la información que se publica en el portal del Ministerio de Salud Pública de Cuba, que brinda la información más detallada.

Según Beltrán (2012-2019), la competencia del profesor de Matemática se define como la configuración psicológica del profesional, que integra componentes cognitivos, metacognitivos, motivacionales y cualidades de la personalidad, y le permite el desempeño competente en la dirección del proceso educativo, y de enseñanza-aprendizaje de la Matemática en particular, en correspondencia con el Modelo del profesional, desde la gestión de los contenidos didáctico y matemático, con el empleo de estrategias comunicativas dentro de estos procesos, y las posiciones científicas que asuma, en un contexto histórico concreto.

En consideración con este presupuesto, los autores aseveran que esta competencia en la disciplina Didáctica de la Matemática, es la configuración psicológica del profesional de la

educación, integradora de un modo de actuación profesional que potencia, a la par de lo cognitivo, lo metacognitivo y lo motivacional, las cualidades de la personalidad del profesional, manifiestos en su desempeño competente en la dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Matemática en el nivel medio.

La posición de los autores, es que las competencias profesionales del profesor de Matemática, que además se integran en la competencia para la dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Matemática, son: competencia para la gestión de los contenidos matemático y didáctico, competencia para la comunicación en la dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Matemática, y competencia para la investigación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Matemática.

Las tres son importantes y todas las disciplinas del currículo de la carrera deben estar en función de su gestión. Pero es esencial que se comprenda la primera: competencia para la gestión de los contenidos matemático y didáctico. Según el autor antes mencionado, quienes la poseen son sujetos con profundos conocimientos de la ciencia matemática y su didáctica; demuestran una cultura profesional pedagógica manifiesta; son capaces de emprender la búsqueda del conocimiento que se necesita para complementar el que poseen; pueden interiorizar esos contenidos para exteriorizarlos luego en la transmisión, la socialización y el intercambio con sus estudiantes, con iguales.

Lo que se espera de un profesor de Matemática, es que este pueda dar respuestas inmediatas a situaciones como la estadística que está detrás de la enfermedad que causa el SARS-Cov-2. Primero se necesita una *buena estadística*, para procesar adecuadamente datos, interpretarlos y sacar conclusiones para tomar decisiones; luego es necesario graficar la situación dada para los que no son muy avezados en Matemática, al mirar la información, puedan *procesarla*.

Un análisis del Plan de estudios E para esta carrera indica que para la Disciplina Probabilidades y Estadísticas se deben dedicar del Currículo base, 100 horas clases. Para los temas de Informática no se dedica en el Plan de estudios ni una hora. Con respecto a este último aspecto, la solución encontrada en la carrera fue dedicar un curso El GeoGebra en la

enseñanza de la Matemática, ubicada en el currículo propio, con 70 horas clase, ubicada en el Segundo período del tercer año del Curso diurno.

Quedan muchas lagunas en este sentido. El GeoGebra, si bien es una herramienta que potencia el aprendizaje, es sabido que para simulaciones de ecuaciones simples, la gráfica de teoremas y funciones, la resolución de muchos elementos de la Matemática es muy simple. Sin embargo, en situaciones más complejas del Álgebra superior, de la Estadística y del Análisis Matemático, deja bastante que desear, según la opinión de estos autores.

Ahora, con respecto a las Probabilidades y la Estadística como disciplina del Plan de estudios de esta carrera. Sus dos últimos objetivos quedan claros: el número 4 exige que el estudiante comunique con claridad y con ayuda del lenguaje propio de la disciplina, sus conocimientos, y el objetivo 5 exige que el estudiante aplique lo aprendido sobre gestión de la información con ayuda de las nuevas tecnologías y asistentes matemáticos.

Y es cierto también eso, sin embargo, sin un curso de Informática y estudiando solo el GeoGebra como asistente, es casi imposible el logro de este último objetivo. Queda la duda de si en la misma disciplina es posible resolver esto. La respuesta casi inmediata es No, pues son 100 horas para el contenido de esta disciplina, que de por sí es bastante densa, sin mucho tiempo más que para ilustrar cómo “correr” ese contenido con algún paquete estadístico.

Ahora queda más claro que el futuro profesor de Matemática no puede dar respuesta, al menos de forma inmediata, a situaciones como las exigidas en estos tiempos de pandemia, donde todos se preocupan por saber cuál es la predicción de su comportamiento, por ejemplo, ante un cúmulo de información estadística que pocos comprenden.

Conclusiones

Tener el control de las epidemias y pandemias significa disminuir o detener su propagación mediante estrategias que disminuyan el R_0 mediante el cambio de la tasa de transmisión o de la duración del período infeccioso, disminuyan el R_e y se reduzca el número de individuos susceptibles.

Hoy es una realidad que pocas carreras universitarias dedican tiempo al modelado de situaciones epidemiológicas, incluso la carrera Licenciatura en Educación. Matemática, que no lo tiene previsto ni en la Disciplina Probabilidades y Estadística, lo que pone a los futuros egresados en una desventaja esencial para interpretar tales situaciones.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez Mora, D. y Días Rodríguez, I. M. (2021). Modelos matemáticos aplicados a la Epidemiología. *Multimed*; 25 (1): e1406.
- Abelló Ugalde, I.A; Guinovart Díaz, R.; Morales Lezca, W. (2020). El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19. *Revista Cubana Salud Pública*; 46 (1.
- Bacaer, N. (2021). *Un modelo matemático de la epidemia de coronavirus en Francia*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02509142>.
- Mora, D. A. (2021). Modelos matemáticos aplicados a la Epidemiología. *Multimed. Revista médica*; 25(1).
- Vidal Ledo, M. J.; Guinovart Díaz, R.; Baldoquín Rodríguez, W.; Valdivia Onega, NC.; Morales Lezca, W. (2020). Modelos matemáticos para el control epidemiológico. *Educación Médica Superior*; 34(2).
- Wilches Visbal, J. H. y Castillo Pedraza, M. C. (2020). Aproximación matemática del modelo epidemiológico SIR para la comprensión de las medidas de contención contra la COVID-19. *Revista Española de Salud Pública*; 94.