

Resolución de problemas médicos mediante modelos matemáticos de predicción cuantitativa y cualitativa

Solving Medical Problems Using Mathematical Models Of Quantitative And Qualitative Prediction

Luis Alberto Escalona Fernández^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8954-5178>

¹Universidad de Ciencias Médicas de Holguín, Facultad de Medicina Mariana Grajales Coello, Departamento de Informática. Holguín, Cuba.

*Correo electrónico: luisalbert@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: La evolución de los paradigmas metodológicos fundamentan los modelos matemáticos y sus aplicaciones en diferentes campos de las ciencias, en particular, las ciencias médicas.

Objetivo: Resolver problemas médicos según la evolución y los enfoques de los paradigmas metodológicos.

Métodos: Se emplean los métodos teóricos: análisis y síntesis, inducción y deducción, abstracción y concreción, y el método histórico lógico. Construcción de curvas de funciones y sus razones de cambio. Se aplican métodos, procedimientos y algoritmos matemáticos, así como los enfoques de los métodos clínico y epidemiológico.

Análisis e integración de la información: Se resuelven problemas médicos según la evolución y los enfoques de los paradigmas metodológicos, mediante modelos matemáticos de predicción cuantitativa y cualitativa, el análisis comparativo facilita la comprensión, explicación e interpretación de la información representada, desde el comportamiento de los fenómenos y/o procesos en estudio.

Conclusiones: La resolución de problemas médicos mediante la aplicación de modelos matemáticos de predicción cuantitativa y cualitativa, los cuales

describen los comportamientos continuos, discontinuos (de saltos) y estocásticos, constituyen alternativas para adoptar decisiones y verificar tratamientos en pacientes, desde los enfoques clínico y epidemiológico. Estos mismos modelos son de utilidad en la resolución de aspectos formativos de los futuros especialistas.

Palabras clave: paradigmas metodológicos; resolución de problemas médicos; modelos matemáticos cuantitativos y cualitativos; coronavirus.

ABSTRACT

Introduction: The evolution of methodological paradigms underpins mathematical models and their applications in different fields of science, in particular, medical sciences.

Objective: To solve medical problems according to the evolution and approaches of methodological paradigms.

Methods: Theoretical methods are used: analysis and synthesis, induction and deduction, abstraction and concretion, and the logical historical method. Construction of curves of functions and their reasons for change. Mathematical methods, procedures and algorithms are applied, as well as the approaches of clinical and epidemiological methods.

Analysis and integration of information: Medical problems are solved according to the evolution and approaches of methodological paradigms, through mathematical models of quantitative and qualitative prediction, comparative analysis facilitates the understanding, explanation and interpretation of the information represented, from the behavior of the phenomena and / or processes under study.

Conclusions: The resolution of medical problems through the application of mathematical models of quantitative and qualitative prediction, which describe the continuous, discontinuous (jumping) and stochastic behaviors, constitute alternatives to adopt decisions and verify treatments in patients, from the clinical and epidemiological approaches. These same models are useful in solving the training aspects of future specialists.

Keywords: methodological paradigms; resolution of medical problems; quantitative and qualitative mathematical models; coronavirus.

Recibido: 20/01/2021

Aceptado: 12/06/2021

Introducción

La medicina en su esquema metodológico tradicional se halla en crisis. Se necesitan nuevos conceptos que recreen los paradigmas actuales, acorde con las revoluciones precipitadas por la física y la matemática en el siglo XX. Aposentadas en la mecánica de Descartes y Newton, la medicina no ha salido de su esquema tradicional determinista de causa y efecto (directos), de la causalidad como producto epistémico interpretado dentro de la ecuación lineal.^(1,2)

Ya en los albores del siglo XXI la medicina es considerada deficitaria por sus resultados posibles, basada en un marco teórico erróneo. Descartes impregnó largamente con su pensamiento al dividir al hombre en mente y materia, tradición fuertemente arraigada. El cuerpo es interpretado como un mecano que obra según las leyes deterministas y predecibles.⁽¹⁾

Newton fue el encargado de mostrar esa visión mecanicista de Descartes de las leyes matemáticas que la volvían totalmente explicativa. Desde hace tres siglos predomina un pensamiento científico bajo el esquema de ese modelo del universo, de que se valieron no solo las ciencias exactas, sino también otras disciplinas como la medicina, las humanidades y las ciencias sociales.^(1, 3)

No obstante, en el siglo XX se sacudieron los cimientos de las ciencias.^(1, 4) A lo largo de ese siglo la física produjo dos revoluciones: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, y las matemáticas: la teoría de las catástrofes y el caos. En las ciencias médicas ya no es posible separar los procesos biológicos moleculares de los subatómicos, la psiquis, y el hábitat.⁽¹⁾

No es comprensible quedarse en la metodología de las ecuaciones lineales dejando de lado a las ecuaciones no lineales, las cuales abarcan las soluciones de los problemas que subsisten en la interpretación y la curación de las enfermedades.^(5, 6)

En el arte médico el paso del estudio de procesos ordenados a procesos caóticos (desordenados), de la exactitud a la incertidumbre, de la certeza a la probabilidad, supuso el progreso en dilemas cuya solución se entendían con

ecuaciones de pocas variables, en los problemas de causa y efecto directos (ecuaciones lineales). Los modelos matemáticos deterministas (cuantitativos), regidos por leyes, se corresponden con la relación de pequeños cambios en las causas (variables independientes) y se manifiesten pequeños cambios en los efectos (variables dependientes).

En los elementos esbozados hasta el momento, destaca la evolución de los paradigmas metodológicos, los cuales fundamentan los modelos matemáticos y sus aplicaciones en las ciencias médicas. Sin embargo, no se concretan estas aplicaciones con fines en la formación profesional de los futuros egresados.

Se debe enfatizar en la toma de decisiones en diagnósticos y tratamientos, según la aplicación de los métodos clínico y epidemiológico, verificados a través de los enfoques de los paradigmas metodológicos y su evolución forma parte de la actualización constante del método científico en las ciencias médicas.

Se propone como objetivo resolver problemas médicos según la evolución y los enfoques de los paradigmas metodológicos.

Métodos

Durante la investigación fueron empleados los métodos teóricos:

- Análisis y síntesis: asociado al estudio de informes de investigaciones y fuentes bibliográficas de referencias relacionadas con el tema.
- Inducción y deducción: para determinar las regularidades que permitían explicar el desarrollo de la interpretación de los modelos matemáticos.^(1, 2, 3)
- Abstracción y concreción: se relacionan las regularidades del desarrollo de los paradigmas metodológicos, los diferentes modelos matemáticos y sus aplicaciones en el diseño y resolución de problemas médicos.^(1, 2, 3)
- Histórico-lógico: fundamenta el estudio de la evolución de los paradigmas metodológicos a partir de sus antecedentes.
- Así el enfoque del método para clasificar los modelos matemáticos: se aplican métodos, procedimientos y algoritmos matemáticos como herramientas de trabajo en la resolución de los problemas médicos.^(7, 8, 9)

El estudio, según su alcance, es una investigación de aplicación. El problema surge de la práctica social y los resultados son aplicables directamente a la solución que se genera.^(10, 11,1 2)

En estas situaciones de salud, se desconocen las ecuaciones que modelan los procesos y/o fenómenos, por lo tanto, el investigador debe recolectar información para construir estas curvas y compararlas. La visualización de los datos experimentales representados permiten adoptar decisiones y realizar predicciones.^(12, 13, 14)

Se utiliza una vía alternativa como herramienta de trabajo de gran valor metodológico en la búsqueda de las soluciones de los problemas médicos, en los cuales el proceso o fenómeno en estudio no se conocen referencias de su comportamiento.^(12, 14) El tiempo para el proceso de aplicación de los métodos sobrepasa los dos años de trabajo.

Análisis e integración de la información

Las diferentes posiciones surgen en las ciencias desde los inicios. Parménides de Elea se refiere al estatismo en oposición a Heráclito de Efeso, quién profesaba la idea del movimiento perpetuo. En el siglo V a. C. los atomistas, encabezados por Leucipo y Demócrito, establecen que el ser se hace aparentemente de uniones y separaciones que ellos denominaron átomos y, asimismo, diferenciaban la mente del cuerpo.⁽¹⁾

Platón se apoyó en las ideas de Parménides con respecto al orden y en Pitágoras sobre las leyes matemáticas-geométricas en la interpretación del universo. Aristóteles, en cambio, no se afianzó en las invariantes, sino en procesos observables. Su doctrina es de naturaleza compleja, cambiante, desordenada e imprevista.⁽¹⁾

Descartes en el siglo XVII redimensionó la posición cuerpo/mente de los atomistas. A partir del Renacimiento predomina el punto de vista platónico. El lenguaje matemático se fue revitalizado a lo largo del tiempo por científicos como Galileo, Kepler, Newton y Einstein. El mundo puede describirse y explicarse a través de fórmulas y ecuaciones matemáticas no hay lugar para el desorden, ni lo incierto.⁽¹⁾

En sus investigaciones Newton emplea un método científico en el cual se aislaba al sistema dinámico en estudio. Además, se basaba en problemas simples de pocos componentes y en el espacio tridimensional de Euclides.⁽¹⁾

Otro aspecto relevante de la mecánica clásica fue la reversibilidad en el tiempo de las trayectorias de los sistemas dinámicos. Este diseño consideraba que si se conocen las condiciones iniciales es posible predecir los resultados en un tiempo posterior, atendándose a las leyes de la mecánica.⁽¹⁾

Esta estructura del método científico se redimensionó posteriormente con la *Mécanique Céleste* de Pierre Laplace, de concepción determinista. Los sistemas desordenados, impredecibles y azarosos eran en su tesis imperfecciones del conocimiento. Este concepto deja excluido el tiempo, el cual se conoce en la literatura como “el demonio de Laplace”, porque los acontecimientos cursan en un proceso que no se puede modificar.⁽¹⁾

Así, la mecánica de Newton se aplicó en los siglos siguientes a la física, la química, la biología, la economía, la sociología; pero los modelos matemáticos deterministas (cuantitativos) no podían describir adecuadamente los fenómenos eléctricos y magnéticos. En el siglo XIX Faraday y Maxwell introducen el concepto de campo (potencial de producir una fuerza en el espacio), cuya teoría se denomina electrodinámica, la cual explica que la luz es un campo magnético que viaja en ondas.⁽¹⁾

La ciencia fue avizorando que los fenómenos del microcosmo o los que ocurren en el universo a velocidades cercanas a la de la luz no se explican con la mecánica newtoniana. Esta interpretación da paso en el siglo XX a la teoría de la relatividad y a la mecánica cuántica. En estas teorías el espacio y el tiempo forman un continuo cuatridimensional. Las magnitudes no son absolutas, sino dependientes del observador. En esta concepción la masa es una forma de energía.⁽¹⁾

A principios del siglo XX se demostró mediante los rayos X que los átomos poseen estructuras internas y Ernest Rutherford descubre que las partículas alfa podían utilizarse como proyectiles para explorar estas estructuras internas en estos, es decir son destructibles y no indivisibles como se consideraba hasta ese momento.⁽¹⁾

Los estudios desarrollados por Bohr, Broglie, Schrödinger, Pauli, Heisenberg y Dirac explican el universo subatómico. Max Planck encontró que la radiación

calorífica es emitida en forma no continua, sino en paquetes de energía que Einstein llamó *cuanto*, los cuales dieron nombre a la teoría cuántica, se aceptaron como partículas y se le asignó el nombre de fotones.^(1,6)

Una consecuencia de la relación de indeterminación que surge del principio de incertidumbre de Heisenberg está dado en que las partículas (ondas, en mecánica cuántica), no siguen trayectorias definidas.⁽⁷⁾ No es posible conocer exactamente el valor de todas las magnitudes físicas que describen el estado de movimiento de las partículas (onda) en ningún momento, sino solo una distribución estadística, la cual asigna una determinada probabilidad de que la partícula (onda) se encuentre en una determinada región del espacio en un momento determinado. Es posible que la aparente indeterminación se deba a que realmente no existen posiciones y velocidades de partículas, sino solo ondas.⁽⁷⁾

El matemático Henry Poincaré expresaba en 1908: “una causa muy pequeña que se nos escape determina un efecto considerable que no podemos dejar de ver y entonces decimos que el efecto se debe al azar”.⁽⁸⁾

Se distingue un modelo matemático, en el cual se identifiquen los comportamientos de los procesos que presentan discontinuidades (saltos).

En el campo de las ciencias sociales es desarrollada por Jacobo Quetelet en 1820 la factibilidad de la probabilidad y la estadística. Esto confluye en la creación de la mecánica estadística por parte de Ludwig Boltzmann, quien deduce que en el enfoque en sistemas dinámicos no es posible aplicar la metodología de Newton, lo más cercano a la predicción es cuando se establece la probabilidad.^(1, 8)

Los avances de la física y la matemática en el siglo xx fueron explicando los sistemas caóticos de difícil predicción. En cambio, las ciencias médicas se estancaron en el método mecánico, interpretando que la naturaleza era regida por leyes lineales y que era necesario descifrar la concepción etiopatogénica y terapéutica.

No obstante, ocurre un avance cuando se vislumbró como de mayor jerarquía el uso del cálculo de las probabilidades, el cual se utilizó a finales del siglo pasado como una forma de entender los fenómenos, fundamentalmente a nivel de respuesta terapéutica. Utilizada como evidencia del uso de los fármacos en relación con los porcentajes de respuestas que obtenga; sin embargo, no en individualizar en quién puede ser efectivo, independientemente de su alcance

porcentual, alejándose del concepto de consideran al paciente como un ente total, plausible de responder de forma singular.⁽¹⁾

La segunda revolución de la física, provocada por la mecánica cuántica, determinó que el universo atómico y subatómico, la probabilidad y los métodos estadísticos eran esenciales. Los problemas derivados de las ecuaciones no lineales se vieron beneficiados con un nuevo quehacer: los modelos matemáticos estocásticos.⁽¹⁾

Los métodos matemáticos se han aplicado en los organismos individuales (procesos fisiológicos, cardíacos y neuronales), lo cual no es sencillo. La dificultad para la utilización de estos métodos es evidente, no obstante, los procesos biológicos están orientados por mecanismos no lineales y presentan comportamientos caóticos, más allá de los estadios cíclicos.⁽¹⁾

Los modelos matemáticos de comportamiento cualitativo son los que en los cuales pequeños cambios (cuantitativos) en las causas (variables independientes) provocan efectos inesperados (finitos, grandes, cambios cualitativos).

Los sistemas caóticos hacen necesario una descripción de su comportamiento de carácter probabilístico, lo cual no deja de tener un cariz determinista. La extensión de conceptos físicos naturales a organismos vivos debe de todas formas realizarse con prudencia. El acercamiento entre la física, la matemática y la medicina es factible por analogía.

El organismo se renueva totalmente en pocos años, constituye un proceso de transmutación de y en energía. Por esas razones la medicina actual tiene que atender los fenómenos cuánticos, al mundo probabilístico y al campo subatómico. El caos resulta útil en el campo de las investigaciones de los procesos biológicos, siempre que esté controlado para evitar catástrofes, de manera tal que los sistemas perturbados adopten comportamientos ordenados.⁽¹⁾ Así se ilustra en la estabilización de las arritmias y, en general, los comportamientos de procesos neurobiológicos, electrofisiológicos, cardíacos y las fluctuaciones en las poblaciones. Enfermedades como la aterosclerosis y los tumores malignos son causantes de una alta mortalidad. Estos obedecen a sistemas dinámicos no lineales, por lo cual no han tenido posibilidad de acceder a verdaderas curaciones, más allá del enorme presupuesto volcados a ese propósito.⁽¹⁾

Acerca de la causalidad Henry Poincaré enfatizó: “El hombre moderno recurre a la causa y al efecto, como el hombre primitivo recurría a los dioses: Para poner en orden al universo, No porque sea el sistema más confortable a la verdad, sino por ser el más conveniente”.^(1, 9) Por lo que no es sencillo incorporar estas ideas. Ni siquiera introducirlas en forma completa dentro del raciocinio médico imperante.

La importancia de los avances en el mundo subatómico de los seres vivos, sin establecer una división entre lo macro y lo subatómico, por ejemplo, los receptores moleculares orgánicos tienen una geometría clásica que permite su acoplamiento. Esto se explica con el desarrollo de los campos de fuerza, con lo cual la distribución de los electrones determina la factibilidad del acoplamiento.⁽¹⁾

El concepto tradicional de la medicina a partir del siglo XVII excluyó los pacientes del resto del universo. Estos se consideran estructuras separadas, no pertenecientes a la unidad órgano-socio-psicología que los contienen. El desarrollo en el estudio de las enfermedades psicosomáticas es una aproximación parcial al problema metodológico sin resolución definitiva.⁽¹⁾

El cuerpo no es un objeto aislado de interrelaciones en un proceso dinámico. Aunque pueden ser analizados algunos tópicos como la participación del tiempo en los procesos patológicos, placebo, variabilidad fisiológica y conciencia.

La experimentación del paso del tiempo en relación con su esquema social (horas establecidas de la alimentación, descanso, trabajo) y no de acuerdo a las necesidades fisiológicas (hambre, sueño) es causa de lo que se conoce como “patología del tiempo”. La tensión, ansiedad y estrés (en esencia, la “sensación de la prisa”) contribuyen con la variable a la hipertensión arterial y a las dolencias cardiovasculares.⁽¹⁾

La apariencia de que el “tiempo que no alcanza” es en sí mismo una variable mórbida, la cual está dentro de la convivencia cautiva y los acontecimientos de los que formamos parte. Una manera de resguardarnos de esta variable patogénica es “lentificar nuestro tiempo” y disminuir la velocidad que le suele imprimir a los sucesos. Imaginar un tiempo “no fluyente” es primordial para utilizarlo como tratamiento. Esto es fundamental en personalidades de tipo A,

que son las que sufren mayor mortalidad por dolencias cardiovasculares en correspondencia con una conciencia acentuada del tiempo.⁽¹⁾

El efecto placebo, tan entendido en la experimentación clínica se incorpora a la conciencia determinando un cambio en el curso evolutivo de la enfermedad. Por otro lado, la variabilidad fisiológica ha sido una muletilla para explicar la respuesta individual.⁽¹⁾ Este concepto debe considerarse no tan restringido, sino como una réplica total del paciente estimulado. Este no solo reacciona con la molécula causal, sino con todas sus partículas que implican la danza de lo indeterminado, la conciencia y el hábitat que lo contiene.

Modelo matemático de predicción cuantitativa

El modelo matemático de predicción cuantitativa es determinado por una causa y su efecto, es decir, el consumo diario de una cantidad fija de calorías condiciona el peso corporal del paciente, al cabo de 30 días. Barnett, Ziegler y Byleen proponen el siguiente:⁽¹⁰⁾

Problema 1: Una persona que pesa 130 libras, desea perder 5 libras, en un periodo de 30 días. ¿Cuántas calorías por días debe consumir esa persona para alcanzar su meta?

Arthur Segal publicó en *The College Mathematics Journal* (1987;18) el siguiente modelo de una ecuación para la pérdida y la ganancia del peso:

$$\frac{dw}{dt} + 0,05w = \frac{\text{Cal}}{3500} \quad (1)$$

La modelación matemática es de predicción cuantitativa. Se trata de una ecuación diferencial lineal de primer orden, cuya solución general es:

$$W_{(t)} = \frac{\text{Cal}}{17,5} + C_1 \exp(-0,005t) \quad (2)$$

De la condición inicial $W(0) = 130$ se deduce la solución particular:

$$W_{\text{solución particular}(t)} = \frac{\text{Cal}}{17,5} + \left(130 - \frac{\text{Cal}}{17,5}\right) \exp(-0,005t) \quad (3)$$

Se considera la condición impuesta en la situación de salud expresada por la ecuación:

$$W_{(t=30)} = 130 - 5, \text{ es decir:}$$

$$W_{30} = \frac{\text{Cal}}{17,5} + \left(130 - \frac{\text{Cal}}{17,5} \right) \exp(-0,005 \cdot 30) = 12s5 \quad (4)$$

Y, luego de realizar las operaciones de despeje para determinar las calorías diarias a consumir se obtiene finalmente que Cal = 1 647 calorías diarias a consumir para alcanzar la meta de pesar 125 libras, al perder 5 libras en 30 días. En los primeros años de vida la secreción de estrógeno de una paciente posee un comportamiento creciente hasta alcanzar la pubertad (comienza el ciclo menstrual). A partir de ese momento se produce un decrecimiento y, en lo adelante, el proceso posee un comportamiento de la producción de estrógeno desordenada, aunque este oscila entre sus valores extremos (máximos y mínimos). Se desconoce la ecuación matemática del comportamiento de la producción de estrógeno. Por lo que es necesario realizar un estudio de caso, como se indica en el siguiente problema.^(11, 12)

Se proponen dos problemas médicos como resultado de una metodología elaborada en la investigación desarrollada.⁽¹²⁾

Problema 2: Diagnosticar el caso, según los registros de secreción de estrógeno de una paciente (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de la edad de una paciente, la secreción (producción) de estrógeno y las diferencias de la secreción de estrógeno

Edad (años)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
La secreción de estrógeno (producción) en µg/24h	8	17	29	41	53	67	79	99	139	180	205	235	212
Diferencias de la secreción de estrógeno (se realiza un acercamiento gráfico de la razón de cambio de la secreción de estrógeno con respecto a la edad)	9	12	12	12	14	12	20	40	41	25	30	-23	

Fuente: Guyton.⁽¹³⁾

Se diagnostica un caso en el cual se registra la secreción de estrógeno de una paciente, según la edad en años (E). La herramienta de trabajo matemática fue elaborada por el autor de este trabajo en los reportes de investigación.⁽¹⁵⁾

Se realizó un acercamiento gráfico mediante la construcción de las curvas de la función secreción de estrógeno y la función razón de cambio de la secreción de estrógeno con respecto a la edad. El análisis comparativo de ambas curvas concluye que el método clínico es el más efectivo para adoptar la decisión.

El comportamiento monótono creciente estrictamente de la producción de estrógeno; no ofrece una información precisa acerca de la secreción máxima de estrógeno, es decir si continúa su crecimiento o si decrece (desciende); sin embargo al comparar con el comportamiento de la razón de cambio de la secreción del estrógeno con respecto al tiempo, se observa que la curva corta el eje horizontal, es decir la ordenada se anula (es cero), cuando su abscisa (tiempo) es 12 años, por lo tanto la producción de estrógeno alcanza su máximo valor.

Entonces es posible predecir que la secreción de estrógeno es óptima, cuando su abscisa (tiempo) es igual a los 12 años. Se concluye que la producción de estrógeno del estudio de la paciente es normal, esta evidencia es de incalculable valor en la evaluación del caso, por eso es necesario el seguimiento exhaustivo, mediante este procedimiento, el cual es ratificado por el inicio de la pubertad de la paciente.

La solución del siguiente es análoga a la desarrollada en este problema 2.

Problema 3: Predecir la evolución y desarrollo de la epidemia de COVID-19. Si el porcentaje diario de enfermos registrados: 0,03 %; 0,13 %; 0,29 %; 0,51 %; 0,79 %; 1,10 %; 1,47 %; 1,86 %; 2,27 %; 2,7 %; 3,14 %; 3,57 %; 3,99 %; 4,4 %; 4,8 %.

El método de estudio resulta análogo al problema 2. Así pues, se consolida el método para resolver situaciones de salud en las cuales la predicción y el pronóstico resultan complejos, ya que se desconocen las ecuaciones asociadas al modelo matemático del fenómeno en estudio, desde la comparación de los aspectos cualitativos; a partir de datos cuantitativos, es decir se propone un método de trabajo mixto, el cual es novedoso. La combinación de los enfoques cuantitativos y cualitativos proporcionan evidencias en la comprobación de diagnósticos y tratamientos, desde los enfoques clínico y epidemiológico.

En los problemas 2 y 3 se tratan situaciones de salud muy diferentes por naturaleza, se aplica el método clínico para diagnosticar una paciente; luego se aplica el método epidemiológico para realizar predicciones acerca de la evolución de una epidemia. Sin embargo, la herramienta de trabajo matemática es la misma. Resulta de vital importancia la aplicación de los modelos matemáticos para verificar la evolución de epidemias (como la provocada por el SARS-CoV-2), en países específicos o a nivel global.^(12, 14) El método matemático permite el seguimiento y el control de la eficacia de las medidas ejecutadas para disminuir la evolución de la epidemia. La predicción y el pronóstico se relacionan mediante modelos matemáticos estocásticos.^(15, 16)

Problema 4: Los datos contenidos en la certificación técnica de un medicamento muestran su efectividad en el 80 % de los casos para curar cierto tipo de dermatitis. Como resultado de las modificaciones del tratamiento, se espera un aumento de la efectividad al 90 %. Para verificar lo propuesto se efectúan comprobaciones al azar a 64 pacientes, de ellos resultan curados 57 con modificaciones en el procedimiento. Entonces, ¿cuál es la relación entre los errores de primer y segundo producto según la situación descrita?

El modelo matemático que describe la evolución poblacional es resuelto con el auxilio de los programas informáticos, la solución representa una respuesta cualitativa, descrita por el comportamiento epidemiológico a través del tiempo. El comportamiento de los fenómenos aleatorios se describe por modelos matemáticos estocásticos. En la figura 1 se grafica la relación entre los errores de primero y segundo géneros, en la medida que se desplaza el valor del percentil fijado, se desplaza la recta de la izquierda a la derecha, es decir, alfa (error de primer género) disminuye, beta (error de segundo género) aumenta. Para que ambos disminuyan es necesario trabajar con muestras de mayor tamaño.

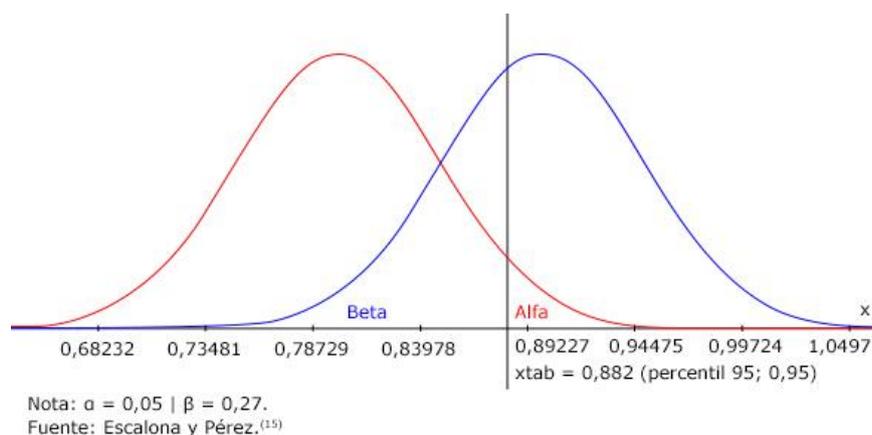


Fig. 1. Relación de los errores de primer género y segundo género.

Para la solución del problema se determinó la probabilidad de los errores de primer y segundo géneros, α y β , respectivamente.

El modelo clásico de Lotka-Volterra tiene valiosas aplicaciones médicas, entre ellas, se emplea en inmunología, en la relación del sistema inmune con virus o con células cancerosas. El siguiente problema ha sido elaborado a partir del reporte realizado por Lombardero.⁽¹⁶⁾

Problema 5: Describir la evolución poblacional de las presas (conejos) y los depredadores (lobos), según el tiempo. Si se conocen las soluciones del modelo de Lotka-Volterra, representadas a continuación.

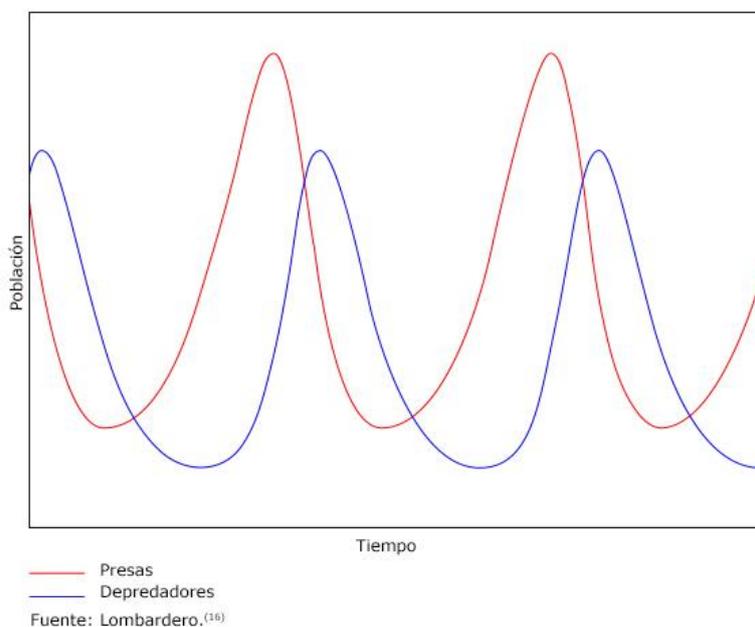


Fig. 2. Evolución de las poblaciones presas y predadores según el tiempo.

El comportamiento de los fenómenos desordenados se describe por modelos matemáticos establecidos en la teoría del caos. De acuerdo al estudio global el proceso de crecimiento de las poblaciones en la figura 2, están en equilibrio a través del tiempo para determinadas condiciones.

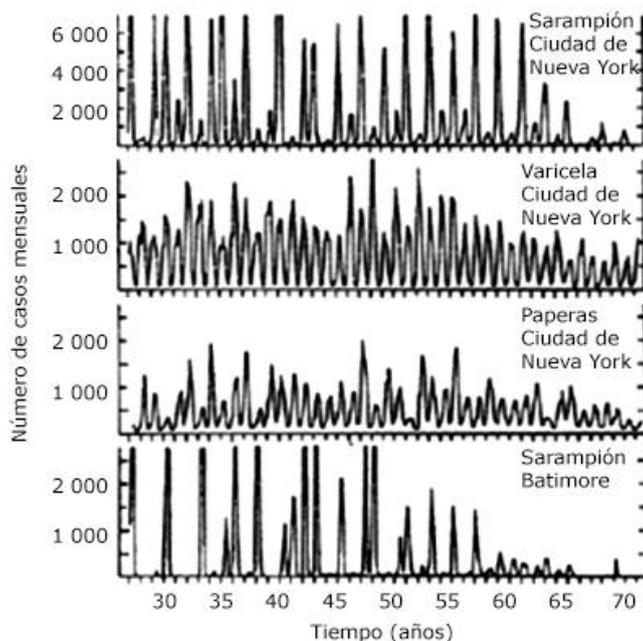
Problema 6: El comportamiento epidemiológico las paperas, la varicela y el sarampión en diferentes ciudades es desordenado, caótico, y complejo.

La teoría del caos ha tenido aplicaciones en la epidemiología. Posiblemente uno de los resultados más sorprendentes y sugestivos fue reportado por un grupo de investigadores de la Universidad de Arizona, fundamentado con los datos de la incidencia anual de enfermedades víricas infantiles, tales como las paperas, la varicela y el sarampión en diferentes ciudades de los Estados Unidos.^(16, 17, 18)

El comportamiento de fenómenos desordenados se describe por modelos matemáticos establecidos en la teoría del caos. No obstante, se visualiza de acuerdo con el estudio global del proceso de crecimiento que, para determinadas condiciones, las poblaciones existen y el comportamiento cíclico a través del tiempo de las soluciones del sistema dinámico no es lineal.

La modelación matemática predictiva cualitativa en procesos desordenados es de gran utilidad en los diagnósticos médicos, por ejemplo, en la verificación de enfermedades cardíacas.

En la figura 3 se visualizan los registros de casos de diferentes enfermedades en ciudades americanas. Los registros indican desde el método epidemiológico clásico, que las variaciones en la incidencia del sarampión son aleatorias y al azar, la dinámica caótica permite detectar un comportamiento determinista, confinado a una región del espacio de las variables que podría ser predecible a corto plazo (la dinámica observada está afectada por cierto ruido). Por otra parte, mientras que las paperas presentan un comportamiento marcadamente periódico y, por tanto, predecible en gran medida, la varicela presenta fluctuaciones al azar en torno a un supuesto estado estacionario estable. Lo llamativo fue que el sarampión muestra una dinámica caótica, independiente a la ciudad en la que realizaron los registros.

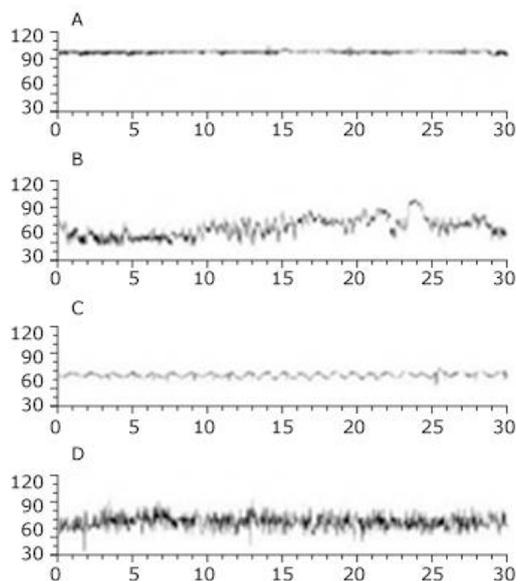


Fuente: Universidad de La Laguna.

Fig. 3. Evolución de la fenomenología de las enfermedades víricas infantiles (epidemias), según el tiempo, ocurridas en ciudades de América.⁽¹⁷⁾

Las consecuencias de este estudio ya se han hecho notar en los programas de vacunación en masa y en otras medidas para combatir las enfermedades analizadas. Otros procesos tales como la movilidad en el tracto gastrointestinal también muestran dinámicas complejas.⁽¹⁸⁾

Problema 7: Identificar los sujetos sanos y enfermos, dados en la figura 4.



Fuente: Ref. Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging, Ary L. Goldberger, Luis A. N. Amaral, Jeffrey M. Hausdorff, Plamen Ch. Ivanov, C. K. Peng, and H. Eugene Stanley, PNAS, February 19, 2002, vol. 99, suppl. 1, 2466–2472

Fig. 4. Dinámica de la actividad cardiaca del corazón a partir de la fenomenología. Estudio de los pacientes A, B, C y D, según el tiempo en minutos.⁽¹⁹⁾

La figura 4B y 4D representan la dinámica de un sujeto sano, que es caótica, mientras que una dinámica periódica y predecible (4A y 4C) indica una cardiopatía.

Conclusiones

En concordancia con el desarrollo de las teorías clásicas, la mecánica cuántica, las probabilidades, las catástrofes y el caos, es posible resolver problemas médicos. según la evolución, y los enfoques de los paradigmas metodológicos, mediante modelos matemáticos de predicción cuantitativa y cualitativa, los cuales describen los comportamientos: continuos, discontinuos (de saltos), y estocásticos, a través de alternativas para adoptar decisiones y verificar terapéuticas en pacientes, desde los enfoques clínico y epidemiológico, así reafirmar aspectos formativos profesionales de los futuros especialistas.

Referencias bibliográficas

1. Trainini JC. Hacia la necesidad de un nuevo paradigma médico. Revista Argentina de Cardiología. 2003 [acceso: 28/12/2019]; 71(6):439-45. Disponible en: http://www.ignaciodarnaude.com/textos_diversos/Nuevo%20Paradigma%20Medico,J.Trainini.pdf
2. Dossey L. Tiempo, Espacio y Medicina. Barcelona: Ed. Kaidos; 2016. p. 33.
3. Capra F. El Tao de la Física. Madrid: Luis Cármano Ed; 2016. p. 65.
4. Bunque M. La ciencia. Su método y su filosofía. Buenos Aires: Ed. Sudamericana; 2001. p. 1-193.
5. Engel GL. The need a new medical models. A chanllge for biomedicine. Science. 1977;196:129-36. PMID: [847460](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/847460/)
6. Bohr N. Atomic Physics and Human Knowlege. New York: John Wiley & Sons; 2018. p. 20.
7. García J. Principio de Incertidumbre de Heisenberg. 2012 [acceso: 6 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/principio-de-incertidumbre-de-heisenberg/>
8. Poincaré H. Ciencias y método. Editorial Cosimo, 1914. Traducción de Emilio Méndez Pinto, Biblioteca Digital del ILCE. p. 41.
9. LeShan L. The Medium, the Mystic, and the Physicist. New York: Viking Ed; 2012. p. 85.
10. Barnett R, Ziegler M, Byleen KL. Applied Calculus for business and economics, life sciences, and social sciences, 13th Edition. San Francisco, California, United States of America: Dellen Macmillan; 2015.
11. Poblete V. Matemática en Salud. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile; 2016.
12. Escalona LA. Construcción e interpretación de curvas de funciones elementales y la resolución de problemas de optimización para solucionar problemas profesionales médicos. [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógicas]. Holguín, Cuba: Universidad de Holguín; 2019.
13. Guyton AC. Tratado de Fisiología Médica II. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2008.

14. Escalona L, Castro N, Castellanos L, Palacio G, Terán M. Modelación, evolución y desarrollo de la epidemia dengue. Holguín. Julio a septiembre, 2015. Revista de Pedagogía Universitaria, Cuba. 2017 [acceso: 06/11/2019]; XXII(1). Disponible en: [http://www.cvi.mes.edu/peduniv/index.php/peduniv/view\[23\]23](http://www.cvi.mes.edu/peduniv/index.php/peduniv/view[23]23)
15. Escalona L, Pérez S. Alternativa didáctica para estimular el pensamiento creativo de los profesores y estudiantes. Revista Archivo Médico Camagüey, Cuba. 2019 [acceso: 27/12/2019]; 23(1):75-84. Disponible en: <http://www.revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/6113>
16. Lombardero A. Un vistazo a la Biomatemática. Números. 2014 [acceso: 21/02/2019]; 86(julio):29-38. Disponible en: http://www.sinewton.org/numeros/numeros/86/Articulos_02.pdf
17. Torres N. Caos en sistemas biológicos. Universidad de La Laguna, Tenerife; 2016.
18. Stewart I. Las 17 ecuaciones matemáticas que cambiaron al mundo. Barcelona: Editorial Crítica; 2013.
19. Antúnez JC, Madrid C. Matemáticas, caos y medicina: Un ménage á Trois muy productivo. Universidad Complutense de Madrid; 2016.

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses.