

Enfoque de los sistemas complejos en la Epidemiología

Approach of the complex systems in Epidemiology

MSc. José A Betancourt B^I; Lic. Eloy Ortiz Hernández ^{II}; Lic. Ania González Mora ^{III}; Lic Humberto Brito^{IV}

^I Máster en desarrollo local, miembro del Centro de Medicina y Complejidad, investiga aplicaciones no lineales en la Epidemiología. Centro de Medicina y Complejidad del Instituto Superior de Ciencias Médicas de Camagüey, Carlos J. Finlay. Camaguey, Cuba. josebetancourt@infomed.sld.cu

^{II} Licenciado en Física, miembros del Centro de Medicina y Complejidad.

^{III} Licenciado en Física, miembros del Centro de Medicina y Complejidad.

^{IV} Licenciado en Matemática, miembro del Centro de Medicina y Complejidad.

RESUMEN

Para confeccionar la presente revisión se utilizaron bases de datos disponibles en INFOMED, (PUDMED e HINARI;) utilizando los descriptores "epidemics models", "epidemics contact patterns" y "epidemics spatio-temporal". Se realizaron observaciones, entrevistas individuales y grupales con el personal de Epidemiología de la provincia de Camagüey y Ciudad Habana. Se destaca el hecho de que existe abundante bibliografía actualizada en las bases de datos de INFOMED, la cual muestra tendencia internacional al uso de herramientas matemáticas propias del enfoque de la complejidad. En el caso específico de la Epidemiología se aprecia en el mundo el uso de modelos matemáticos de avanzada, análisis cartográficos dinámicos y el establecimiento de patrones de contacto de las poblaciones, lo que pone en evidencia que la toma de decisiones se vale de métodos científicos de avanzada propios del enfoque de los sistemas complejos. Se concluye que urge el reconocimiento de la no linealidad de los procesos epidemiológicos, para que la calidad de la vigilancia epidemiológica se enriquezca con este tipo de análisis.

Palabras clave: Epidemiología, enfoque complejidad, análisis epidemiológico, epidemiología no lineal.

ABSTRACT

To make the present review, available databases were used such as: INFOMED, (PUDMED and HINARI;) using "epidemics models", "epidemics contact patterns" and "epidemics spatio-temporal" as descriptors. Observations, individual and group interviews with the Epidemiology staff of Camagüey province and Havana City were performed. It stands out the fact that abundant updated bibliography in INFOMED databases exists, which shows international tendency to the use of mathematical tools typical of the complexity approach. In the specific case of Epidemiology it is appreciated all over the world the use of advanced mathematical models, dynamic cartographic analysis and the establishment of patterns of the populations' contact, what puts in evidence that taking decisions uses scientific methods of advanced characteristic to the complex systems approach. It is concluded that urges the recognition of the nonlinearity of the epidemic processes, so that the quality of the epidemic surveillance gets rich with this kind of analysis.

Key words: epidemiology, complexity approach, epidemic analysis, non lineal epidemiology

INTRODUCCIÓN

Entre los objetivos específicos de las proyecciones del Ministerio de Salud Pública de Cuba hasta el 2015 está el desarrollar con efectividad un trabajo dirigido a la disminución y control de los factores de riesgo más importantes que afectan la salud de la población. Se requiere de un fortalecimiento del Sistema Nacional de Vigilancia, integrado e integral, con una marcada concepción analítica, predictiva, sistemática y gestora de información y conocimientos para facilitar el proceso de toma de decisiones en el ámbito de la Salud Pública, para la prevención de los daños y la promoción de la salud de nuestra población en el marco de las necesidades y estrategias de nuestro país. Para confeccionar la siguiente revisión se utilizaron bases de datos disponibles en INFOMED, PUDMED e HINARI; utilizando los descriptores "epidemics models", "epidemics contact patterns" y "epidemics spatio-temporal", dado que eran temas de interés investigativo de los autores, de estas bases de datos se bajaron los artículos a texto completo, o en algunos casos el resumen con la dirección del autor, al cual se le solicita el trabajo completo. De esta manera se analizaron 92 artículos. El presente artículo refleja cómo los análisis epidemiológicos han evolucionado hacia la utilización de herramientas propias del enfoque de la complejidad. Además se realizaron observaciones, entrevistas individuales y grupales con el personal de Epidemiología de nuestra provincia. El objetivo del presente artículo es divulgar el uso sistemático que se le dan a los análisis no lineales en la Epidemiología y a divulgar el enfoque de la complejidad en esta rama.

El método para realizar el análisis para confeccionar este artículo es válido para cualquier rama de la medicina, en el usual servicio de bases de datos disponibles en INFOMED, existen gran cantidad de publicaciones actualizadas que permiten a un usuario realizar una búsqueda temática y luego un análisis crítico. Para obtener criterios de expertos el autor participó en un Diplomado Nacional de Epidemiología y en el Congreso Internacional de Epidemiología en el que pudo analizar el método de trabajo empleado en nuestro país. Se entrevistaron especialistas del Centro de

Informática Médica (CECAM) de la Unidad Nacional de Análisis y Tendencias de Salud y de la Escuela Nacional de Salud (ENSAP).

DESARROLLO

Se ha podido constatar que el análisis, control y predicción de epidemias se realiza de la siguiente manera:

El enfoque de los estudios epidemiológicos está concebido como estudios de causa - efecto y los métodos matemáticos generalmente utilizados no contemplan el comportamiento no lineal, escapando características esenciales del sistema, que limitan la capacidad de predicción y control. La mayoría de sistemas no lineales son imposibles de resolver analíticamente. En estos casos se puede lograr alguna solución haciendo una aproximación, pero se pierden soluciones físicas. La razón de que las ecuaciones lineales sean más fáciles de analizar es que los sistemas lineales se pueden separar en partes, resolver cada una de ellas y juntar las soluciones para obtener la solución final. El hecho es que muchas cosas en la naturaleza actúan de forma no lineal.

Se detecta insuficiente nivel de conectividad entre elementos esenciales del sistema de control epidemiológico.

Predomina el enfoque disciplinar en el abordaje de los problemas epidemiológicos.

Insuficiente disponibilidad de bases de datos, con información útil en formato digital, para el análisis no lineal.

Inadecuada gestión de información y del conocimiento.

Se constató que las herramientas estadísticas clásicas utilizadas tienen como supuesto principal que los datos obedecen a una distribución normal, sin embargo existen pruebas de hipótesis de normalidad¹ que en la práctica se omiten y se asume distribución gaussiana. En ocasiones se acude al ajuste de datos, eliminando valores extremos, lo cual altera la realidad y distorsiona la interpretación de los resultados. Cuando se aproxima linealmente un comportamiento que es en esencia no lineal (como el caso de las epidemias), estamos haciendo una aproximación burda del comportamiento real. Esto tenía sentido cuando no se disponían de métodos matemáticos que describen este comportamiento, pero en la actualidad contamos con un grupo significativo de estos tipos de análisis^{1,2} que se están utilizando en el ámbito internacional.

Uso de Modelos Matemáticos

La matemática médica o matemática médica y biológica es un campo interdisciplinario de la ciencia en el cual las matemáticas explican fenómenos, procesos, o eventos asociados a la medicina o a la biología. La importancia fundamental de la Matemática Médica radica en su capacidad expresiva, respecto a una alegada insuficiencia de exactitud que pueden presentar los modelos lingüísticos. Su relevancia biomédica se ha venido demostrando claramente y validando a través de rigurosos experimentos.¹

El empleo de modelos matemáticos ha crecido en grado significativo en los últimos años y estos han sido de gran ayuda para establecer eficaces medidas de control y erradicación de las enfermedades infecciosas.¹ La Epidemiología actual está en una etapa de transición que va de la identificación de factores de riesgos hacia la identificación de sistemas que generan patrones de enfermedades en las

poblaciones; para este trabajo es esencial el uso de modelos matemáticos no lineales.²

Los agentes que provocan patologías infecciosas han evolucionado de forma tal que están emergiendo nuevas enfermedades y otras están reemergiendo. Estos modelos matemáticos se han convertido en herramientas importantes para analizar la dispersión y contribuir al control de estas enfermedades, permiten definir determinados umbrales, el número de reproducción básica, los números de contactos, los patrones de contactos, las locaciones, las edades y otros factores de interacción de la población. Permiten estimar parámetros probables a partir de una data histórica que exista,³ pequeñas variaciones demográficas de las poblaciones pueden agregar aleatoriedad a la aparición de los brotes epidémicos. Los sistemas complejos mantienen una memoria y evolucionan respondiendo a factores externos e internos. Los modelos matemáticos permiten estudiar estas dinámicas de poblaciones para contribuir al control de enfermedades.⁴ Los modelos matemáticos han sugerido que existe una relevante información que está escondida en los datos de series de tiempo de las enfermedades, las cuales se pueden utilizar para apoyar diferentes programas y estrategias de vacunación.⁵

Análisis de patrones espacio-temporales

El uso de la geografía ha constituido un arma eficaz a la hora de completar el pensamiento y las relaciones de causalidad entre los fenómenos, teniendo un impacto social importante las investigaciones que se realizan. El desarrollo de un SIG, en cualquier situación, se ve motivado por aspectos de diferente índole y caracterizado por la incidencia que éste tiene en los individuos, organizaciones y la sociedad, así como el espacio geográfico. Estas perspectivas están ocasionando que el SIG pueda ser empleado como una tecnología de y para la sociedad, pudiendo cambiar el enfoque de sus objetivos, manteniendo la tecnología a los enfoques que fue concebida.

Está cobrando alto valor en el análisis epidemiológico el establecimiento de patrones espacio-temporales. Con este tipo de evaluación es posible realizar predicciones sobre el futuro comportamiento de las enfermedades y controlar e identificar las áreas hacia las que se deben dirigir las acciones, permite capturar y utilizar el componente espacial de los datos epidémicos.⁶ La Moderna modelación estocástica y la ciencia de información geográfica nos brindan una posibilidad de estudiar la distribución espacio-temporal de las epidemias,⁷ sobre todo porque son usuales la incertidumbre y los aportes de datos de variadas fuentes.⁸

Se generan mapas dinámicos espacio-temporales de los patrones de propagación de diferentes enfermedades^{9, 10} a partir de los que se pueden realizar simulaciones y predicciones. La teoría de la complejidad tiene en cuenta factores geográficos en las valoraciones del estado de salud de la población, tales como inequidades sociales, difusión espacial, infecciones emergentes y riesgos.¹¹

Los estudios geográficos han permitido estudiar la historia y dispersión de epidemias del pasado.¹² Los rangos de mortalidad han sido estudiados con modelos espacio temporales.¹³ El tipo de conceptualización del espacio durante al análisis epidemiológico influye en la comprensión de la influencia de los lugares y sus efectos sobre la salud.¹⁴ Los modelos que tienen en cuenta los nichos ecológicos constituyen una poderosa herramienta para comprender la distribución geográfica de especies y otros fenómenos biológicos, como por ejemplo la transmisión de zoonosis desde sus reservorios de población naturales.¹⁵

Patrones de contactos

Los modelos matemáticos modernos incluyen patrones de contactos de la población, al tener en cuenta estos patrones de contacto de la población susceptible se determina quienes tienen alto riesgo de contraer una enfermedad, su conocimiento brinda una información necesaria para enfocar las medidas

preventivas y aportar al aumento de la eficacia de los programas de prevención de salud.^{16, 17} Si existe una estimación adecuada de los rangos de contactos dentro y entre las diferentes categorías de edades se puede planificar mejor la cobertura en los programas de vacunación.

Otros patrones de contactos tienden a estar en un grupo social limitado en los que el grado de intimidad de los contactos es diferente.¹⁸⁻²⁰ La creciente complejidad de las relaciones sociales y de la infraestructura del transporte son factores a tener en cuenta en la dispersión de las enfermedades, este hecho y los acelerados avances de las técnicas de la informática ponen en evidencia la limitación de los enfoques de homogeneidad y difusión espacial simple.²¹

Ejemplo sobre la utilización de modelos matemáticos no lineales

En bases de datos históricas de enfermedades de los niños se ha descubierto mediante un simple modelo matemático que la dinámica ha sido compleja y el patrón de la epidemia indicaba un sistema dinámico no lineal.²² Estos autores exploran el uso de gráficos dinámicos para modelar los patrones de contacto físico que resulta de los movimientos de las personas entre diferentes locaciones.²³ Para la malaria se desarrolló un modelo adecuado para la simulación y la predicción del comportamiento estacional²⁴ la resistencia inmunológica a las enfermedades se comparó con modelos SIR.²⁵

La dispersión de influenza y sarampión fue evaluada realizando una simulación la usando datos históricos, este estudio permite tomar medidas para futuras infecciones y para preparar la mitigación de las mismas.²⁶ Otra herramienta muy utilizada es el modelo de redes neuronales, el cual es muy preciso a las predicciones.²⁷ Se han utilizado modelos para evaluar las interacciones y el contexto de la transmisión en el caso de la dinámica de la tuberculosis.²⁸

Modo de realizar el análisis control y predicción en Epidemiología en Cuba

En Cuba la predicción epidemiológica se realiza con el modelo ARIMA por algunos especialistas, este es un excelente modelo que permite analizar series estocásticas, no estacionarias y estacionarias, pero que sean lineales. Se utiliza en algunas series no lineales y en ocasiones el resultado es satisfactorio, pero en otras no y esto se debe a que este tipo de serie no lineal se debe trabajar con otros modelos como el GARCH o Redes Neuronales que se ajustan más a la característica no lineal de la serie. Son comúnmente utilizados en el país el gráfico de cajas y bigotes característico de la estadística descriptiva, el correlograma o gráfico de las funciones de auto correlación serial que se usa en el ámbito de análisis de series de tiempo y el periodograma.²⁹

Se está introduciendo en nuestro país el método de predicción del canal endémico sugerido por Bortman y ensayado en nuestro país^{30, 31} pero no está generalizado su uso, este método no lineal es superior al usualmente utilizado. No se utilizan sistemáticamente en nuestro país otros modelos matemáticos como el SIR y las Redes Neuronales pues la forma de analizar la causalidad está basada en la relación entre los factores de riesgo y las enfermedades y es por ello que los análisis usuales son los que se enfocan en variables dependientes y variables independientes, estos métodos siguen siendo útiles pero cada día se utilizan más en el mundo los análisis del enfoque de la complejidad que se basa en modelos no lineales de interacciones.

CONCLUSIONES

El enfoque de la complejidad en la Epidemiología se apoya en el uso de modelos matemáticos de avanzada, análisis cartográficos dinámicos y el establecimiento de patrones de contacto de las poblaciones, de manera tal que la toma de decisiones se puede valer de métodos científicos de avanzada.

El reconocimiento de la no linealidad de los procesos epidemiológicos urge.

El uso de modelos lineales estaba justificado cuando no se reconocía este comportamiento, sin embargo, ya que se conoce podemos darnos cuenta de la cantidad de información que se ha estado despreciando y que puede ser la clave de la explicación del fenómeno. Es una de las características de los sistemas complejos, un hecho aislado, aparentemente insignificante, puede ser la causa o el desencadenante de grandes efectos.

La bibliografía actualizada disponible en las bases de datos de INFOMED muestra la tendencia internacional al uso de estas herramientas matemáticas.

RECOMENDACIONES

Introducir en nuestra Epidemiología análisis no lineales que son más adecuados al comportamiento complejo de las variables conformadas por series de tiempo con datos epidemiológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montesinos López OA, Hernández Suárez CM. Modelos Matemáticos para enfermedades infecciosas. Salud Pública de México 2006; 49 (003): 218-226.
2. March Dana, Susser Ezra. The eco- in eco-epidemiology International. Journal of Epidemiology 2006; 35:1379-1383.
3. Hethcote Herbert W. The Mathematics of Infectious Diseases. Society for Industrial and Applied Mathematics 2000; 42(4): 599-653.
- 4, Trottier H, Philippe P. Deterministic Modelling Of Infectious Diseases: Theory And Methods. The Internet Journal of Infectious Diseases 2001;1 (2):3.
5. Scaling properties of childhood infectious diseases epidemics before and after mass vaccination in Canada. Journal of Theoretical Biology 2005; 235: 326-337.
6. Nuckols John R, Ward Mary H, Jarup Lars. Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies. Environmental Health Perspectives 2004; 112(9):1007-1015.
7. Jinfeng W, Anthony J, McMichael L, Bin M, Niels B, Weiguo H, Kathryn Glass B, Jilei W. Spatial dynamics of an epidemic of severe acute respiratory syndrome in an urban area. Bulletin of the World Health Organization 2006; 84:965-968.
8. Paul E, Wartenberg D. Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. Environmental Health Perspectives 2004; 112(9): 998-1006.

9. Hwa-Lung Yu, Christakos G. Spatiotemporal modelling and mapping of the bubonic plague epidemic in India. *Int J Health Geogr* 2006; 5: 12.
10. Kaoru Tachiiri, Brian Klinkenberg, Sunny Mak, Jamil Kazm. Predicting outbreaks: a spatial risk assessment of West Nile virus in British Columbia. *Int J Health Geogr* 2006; 5: 21.
11. Gatrell Anthony C. Complexity theory and geographies of health: a critical assessment. *Social Science y Medicine* 2005; 60: 2661-2671.
12. Chun-Lin Kuo, Hiromichi Fukui. Geographical structures and the cholera epidemic in modern Japan: Fukushima prefecture in 1882 and 1895. *International Journal of Health Geographics*; 2007 6(8): 25.
13. Ying C. Mac Nab. Autoregressive Spatial Smoothing and Temporal. Spline Smoothing for Mapping Rates. *BIOMETRIC5S* 2001; 7: 949-956.
14. Basile Chaix, Juan Merlo, Pierre Chauvin. Comparison of a spatial approach with the multilevel approach for investigating place effects on health: the example of healthcare utilisation in France. *J Epidemiol Community Health* 2005; 59:517-526.
15. Townsend Peterson A, Ryan L, Darin C, Karl M. Geographic Potential for outbreaks of Marburg hemorrhagic fever. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 75(1):9-15.
16. Koopman James S. Comment: Emerging Objectives and Methods in Epidemiology. *American Journal of Public Health* May 1996; 86 (5):630-632.
17. Jacco Wallinga. W, Edmunds J, Kretzschmar M. Perspective: human contact patterns and the spread of airborne infectious disease. *Trends in Microbiology* 1999; 7 (9): 372-377.
18. Edmunds WJ, Kafatos G, Wallinga J, Mossong JR. Mixing patterns and the spread of close-contact infectious diseases. *Emerging Themes in Epidemiology* 2005; 3(10):2.
19. Williams JR, Manfredi P. Ageing populations and childhood infections: the potential impact on epidemic patterns and morbidity. *International Journal of Epidemiology* 2004; 33:1-7.
20. Wallinga J, Peter Teunis, Mirjam K. Using Data on Social Contacts to Estimate Age-specific Transmission Parameters for Respiratory-spread Infectious Agents. *American Journal of Epidemiology* 2006; 64(10):936-944.
21. Beutel P, Shkedy Z, Aerts M, Van Damme. Social mixing patterns for transmission models of close contact infections: exploring self-evaluation and diary-based data collection through a web-based interface. *Epidemiol Infect* 2006; 10(1):1-9.
22. Chris T, Bauch L, David JD. Transients and attractors in epidemics *Proc. R Soc Lond* 2003; 270: 1573-1578.
23. Eubank S, Hasan Guclu V, Anil Kumar L, Madhav V. Marathe L, Aravind S, Volta Toroczkai NW. Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks. *Nature* 2004; 429:180-183.

24. Moshe BH, Andrew PM. A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal* 2004, 3(8): 32.
25. Reluga TC. Resistance mechanisms matter in SIR models. *Mathematical Biosciences and Engineering* 2007; 4(3): 553-563.
26. Christophe F. Estimating Individual and Household Reproduction numbers. *Emerging Epidemic* 2007; 2(8):758.
27. Maria Lúcia FP. Use of an artificial neural network for detecting excess deaths due to cholera in Ceará. *Brazil Rev Saúde Pública* 2004; 38(3): 351-357.
28. Baojun S, Carlos Castillo-Chavez L, Juan Pablo A. Tuberculosis models with fast and slow dynamics: the role of close and casual contacts. *Mathematical Biosciences* 2002; 180: 187-205.
29. Coutin GM. Métodos para la detección de la variación estacional en Cuba aplicados a la vigilancia en salud. *Rev Cubana de Salud* 2007; 33(1): 3-5.
30. Gómez Becerra CM. Corredores Endémicos con Media Geométrica y su Intervalo de Confianza: Una nueva y eficiente alternativa para la vigilancia. *RTV* 2000; 5(4):1028-4338.
31. Bortman M. Elaboración de corredores o canales endémicos mediante planillas de cálculo. *Rev Panam Sal Pub* 1999; 5(1):1-8.

Recibido: 16 de junio de 2008.

Aprobado: 18 de julio de 2008.

MSc. José A Betancourt: josebetancourt@infomed.sld.cu