

SLD248 DINÁMICA NO LINEAL EN SERIES CRONOLÓGICAS DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES SELECCIONADAS. CUBA. 1995-2007

SLD248 NONLINEAR DYNAMIC IN TIME SERIES OF TRASMISIBLE DESEASE. CUBA 1995-2007

Dr. Maicel Monzón Pérez, MSc.¹, Lic. Luis Hernández Cáceres, PhD² Lic. Ivette Camayd Viera Msc.³ Lic. Erick Chávez².

1 Centro de Cibernética Aplicada a la Medicina, República de Cuba, maicel@infomed.sld.cu, Calle 62 e/c 9na y 11 # 917. Municipio. Playa. Habana.

2 Centro de Cibernética Aplicada a la Medicina, República de Cuba

3 Centro Nacional de Genética Médica, República de Cuba

RESUMEN: En algunas series de tiempo de enfermedades de declaración obligatoria cubanas se han descrito dinámicas complejas, difíciles de predecir a través de modelos lineales. En estudios anteriores, la Identificación No Lineal Autorregresiva por Núcleo ha permitido describir dinámicas no lineales, que incluyen atractores caóticos, periódicos y bifurcaciones. La contrastación de estos resultados se hace necesaria para consolidar la existencia estos eventos. Es por ello que el propósito del siguiente trabajo consiste en identificar la existencia de dinámica no lineal en algunas series de enfermedades de declaración obligatoria en Cuba. Para la reconstrucción de los atractores y la dinámica del sistema se obtuvo la dimensión de incrustamiento a través del método False Nearest Neighbors. El tiempo de retado se identificó por medio de AMI (average mutual information). Los gráficos de recurrencia permitieron identificar patrones característicos de caos. Además, se calculan el Exponente de Hurst, el máximo exponente Lyapunov y la dimensión de correlación. Los resultados obtenidos muestran que es posible distinguir comportamientos caóticos. Además, están presentes algunas propiedades de los sistemas no lineales, como la auto-similitud a diferentes escalas en la en la serie de varicela.

Palabras Clave: Dinámica No lineal, Series de tiempo, Teoría del Caos.

Abstract: Complex dynamics have been described in some time series of obligatory declaration diseases in Cuba, hardly predictable through lineal models. Previously, a kernel nonparametric identification approach allowed the description of nonlinear dynamics, including chaotic and periodic attractors, as well as bifurcations. To consolidate these events existence, it is necessary to compare these results. Therefore, this work is aimed at the identification of the nonlinear dynamics existence in some series of Cuban obligatory declaration diseases. To reconstruct the system attractors and its dynamics, the embedding dimension through a False Nearest Neighbors approach. The time delay was identified by using the average mutual information. The analysis of the recurrence graphics showed characteristic patterns of chaos. Furthermore, the Hurst exponent, the maximal Lyapunov exponent and the correlation dimension were calculated. Our final results proved that chaotic behaviors can be distinguished. In addition, some nonlinear system properties are present, such as the self-similarity in the series of chickenpox.

KeyWords: Nonlinear dynamic, Time Series, Chaos Theory

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los intereses por el comportamiento caótico de series de tiempo en salud pública consiste en que potencialmente podrían ser contruidos modelos deterministas cuyas realizaciones representen una gran variedad de comportamientos, incluido las dinámicas más erráticas(1–5). Algunas series de tiempo de Enfermedades de declaración obligatoria (EDO) cubanas han sido ampliamente estudiadas por métodos lineales y se han descritos además de sus componentes fundamentales (tendencia, estacional, ciclo y aleatoriedad) dinámicas complejas(6,7). En la mayoría de los casos el componente aleatorio cuya presencia en la serie tiene un grado variable, es el remanente de las extracción los componentes más regulares (8–12). Su presencia en el proceso de búsqueda del modelo de mejor ajuste es hasta cierto punto indeseable y muchas veces considerado como ruido. Sin embargo, la idea de que dinámicas complejas puedan ser explicadas por un modelo determinista, incluyendo las dinámicas más aleatorias, resulta altamente atrayente en Salud Pública. En especial si se toma en cuenta que muchas de estas series presentan comportamientos complejos que pudieran ser explicados por la teoría de caos y dinámica no lineal. Nuestro grupo a través de la identificación no lineal autor regresiva por núcleo (INLAR) ha descrito en estas mismas series de EDO durante el período comprendido entre la primera semana estadística de 1995 y la última de 2008 lo siguiente (1–5,13,14):

La presencia de al menos un segmento de no linealidad y un predominio de dinámica no lineal en la varicela, infecciones respiratoria agudas y enfermedad diarreica aguda.

Numerosas bifurcaciones del período con abundantes ciclos de alza de casos cada 51 semanas.

La mitad de los atractores en la serie de varicela con dinámica caótica. También fue detectado caos en la hepatitis viral, herpes zoster, leptospirosis, sífilis, blenorragia y escarlatina.

Esto abre una línea de investigación en la que es necesario el contraste de los resultados con otros enfoques clásicos.

El propósito del siguiente trabajo queda formalizado a través de la siguiente hipótesis:

"Existe dinámica no lineal en series de EDO cubanas"

Los aportes de este estudio pueden ser de utilidad para caracterizar y predecir el comportamiento futuro de enfermedades transmisibles sugiriendo en qué caso es factible el empleo de métodos de dinámica lineal para la descripción y predicción. Además constituye un ejemplo de aplicación práctica de la teoría del caos y de los sistemas no lineales en el ámbito de la salud pública.

Una vez planteado el problema de investigación del siguiente trabajo se proponen los siguientes objetivos:

Identificar el atractor y la dinámica del sistema

Describir el tipo de dinámica

Identificar propiedades fractales en las series

2. CONTENIDO

2.1 Materiales y Métodos

Se realizó un estudio ecológico, descriptivo y longitudinal retrospectivo de series cronológicas. Fueron tomadas por semanas estadísticas desde el año 1995 hasta el 2007. Las series objeto de estudio se obtuvieron del registro de casos notificados por enfermedades transmisibles (números absolutos) disponible en la Dirección Nacional de Estadísticas y Registros Médicos (DNE) del MINSAP. Estas son expuestas a continuación:

- 3 Varicela
- 4 Hepatitis viral
- 5 Herpes Zoster
- 6 Meningoencefalitis bacteriana
- 7 Blenorragia
- 8 Condilomas
- 9 Escarlatina
- 10 Leptospirosis
- 11 Tuberculosis
- 12 Sífilis
- 13 Meningoencefalitis viral
- 14 Enfermedades diarreicas agudas

Una vez convertida la serie en estacionaria se procede a la búsqueda de la dimensión de incrustamiento y el tiempo de retardo. Para ello se siguen los siguientes procedimientos:

False Nearest Neighbors

Este método es útil para identificar la dimensión de incrustamiento. Consiste en determinar cuándo los puntos en el espacio de fases reconstruido están infinitesimalmente próximos por haber utilizado una

dimensión muy pequeña. El aumento progresivo de la dimensión hasta que desaparezcan los falsos infinitesimos proporciona una medida de la dimensión necesaria para la reconstrucción. El criterio de selección empleado para la obtener la dimensión de incrustamiento fue el de asumir los valores para los cuales el porcentaje de falsos vecinos sean menores(8,15–19).

Información Mutua Media

La información mutua entre observaciones de una serie de tiempo hace referencia a la información que el conocimiento de, por ejemplo, X_i proporciona de X_{i+T} . El valor de $I(T)$, donde T es el retardo, viene dado por (I):

$$I(T) = \sum_{i=1}^N P(x_i, x_{i+T}) \log_2 \left[\frac{P(x_i, x_{i+T})}{P(x_i) P(x_{i+T})} \right] \quad (I)$$

$I(T)$ es una generalización, en dinámica no lineal, de la función de auto correlación en dinámica lineal. Cuando las medidas son totalmente independientes $P(x_i, x_{i+T}) = P(x_i)P(x_{i+T})$ e $I(T) = 0$ En dinámica no lineal se recomienda elegir el valor de T para el que $I(T)$ tenga el primer mínimo(20).

Exponente de Hurst

El exponente de Hurst es una medida frecuentemente utilizada para evaluar la autosimilitud y la presencia o no, de dependencia de la serie a medida que transcurre el tiempo.

El exponente de Hurst H se define como (II):

$$H = \log(R/S)/\log(T) \quad (II)$$

donde T es la duración de la muestra de datos y R/S corresponde al valor del tamaño del rango. De la expresión se obtiene la ecuación general de Hurst.

Si $H = 0.5$, se señala un comportamiento aleatorio indicaría persistencia en la serie. Por el contrario si se encuentra entre 0 y 0, 5 indica no-persistencia.

Máximo exponente Lyapunov

El exponente de Lyapunov (λ) sirve para medir, en un sistema dinámico, la sensibilidad a las condiciones iniciales. Ello se hace mediante una función exponencial, en la cual el exponente determina la tasa de divergencia de órbitas adyacentes que parten de puntos próximos(21).

Exponente de Lyapunov negativos sugieren que las orbitas se aproximan a un punto fijo. Un valor de cero para el caso de que estas mantengan una posición relativa y valores positivos en atractores caóticos (22–24).

Dimensión de correlación

La dimensión de correlación (D_c) de un sistema dinámico es una medida de su complejidad y permite discriminar entre un sistema determinista y uno aleatorio. Así, si (D_c) es igual a uno indicará una serie con comportamiento de oscilaciones periódicas; si (D_c) es igual a dos una con oscilaciones cuasi periódicas; y si (D_c) es mayor a dos una serie con comportamiento caótico. La baja dimensionalidad, si es encontrada, es indicativa de la existencia de un modelo simple que está generando y rigiendo el sistema objeto de estudio(25–27).

Análisis de visual de recurrencia

Los gráficos de recurrencias representan la dinámica recogida en la serie temporal en un espacio bidimensional, cuyos ejes representan el número de registros de la serie, y en donde la presencia de regularidades en la dinámica quedan recogidas con regularidades que aparecen en el gráfico. Para el caso concreto de dinámicas caóticas aparecen algunas líneas cortas paralelas a la diagonal principal, mientras que para el caso de dinámicas aleatorias el gráfico muestra una representación uniforme de puntos representativa de que no existe estructura alguna en los datos (20).

En el gráfico resultante se pueden ver patrones característicos. Nótese la diferencia de la serie aleatoria a la derecha con la periódica y las dos de la izquierda que fueron obtenidas a partir de ecuaciones que dan como resultado series caóticas (Gráfico 1).

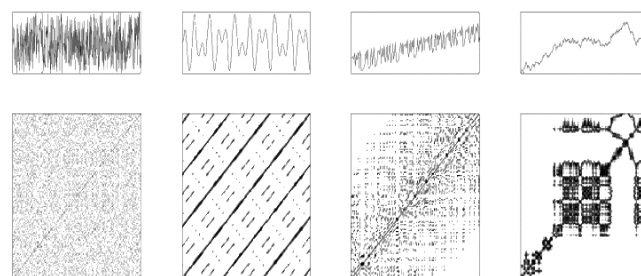


Gráfico 1. Análisis visual de recurrencia para series aleatoria, periódica y caóticas.

2.2 Resultado y discusión

El problema a la hora de decidir los parámetros de la reconstrucción es que, en la mayoría de las ocasiones, se desconoce el sistema generador de las series y en consecuencia su dimensionalidad. A partir del procedimiento FNN se obtiene la dimensión de incrustamiento global óptima para cada una de las series. Los tiempos de retardo son determinados a través del método de información mutua (Tabla 1).

Tabla1. Dimensión de incrustamiento y porcentaje de falsos vecinos según series de tiempo. Cuba 1990-2008.

Series	Dimensión de Incrustamiento global óptima	Porcentaje de falsos vecinos	Tiempo de retardo
Varicela	2	40.86	2
Escarlatina	2	34.41	3
Leptospirosis	3	27.17	2
Condilomas	4	37.65	2
Herpes Zoster	4	31.87	3
Tuberculosis	4	28.57	3
Meningoencefalitis Viral	5	41.11	2
Hepatitis viral	8	37.93	3
Sífilis	8	35.63	3
Enfermedad diarreica aguda	9	38.37	3
Meningoencefalitis bacteriana	9	29.07	2
Blenorragia	10	28.24	2

Una vez obtenida la dimensión de incrustamiento y el tiempo de retardo son construidos los gráficos de recurrencia. Llama la atención que el gráfico de la varicela guarda una analogía visual con los descritos para los comportamientos caóticos (Gráfico 1). Esto se corresponde con lo obtenido a través de INLAR(1). El hallazgo refuerza la idea que existe una dinámica compleja que pudiera corresponder a caos. Nótese la diferencia entre el gráfico del ruido en la que es imposible distinguir patrón y el caso opuesto con máxima periodicidad en la función seno (Gráfico 2 y 3).

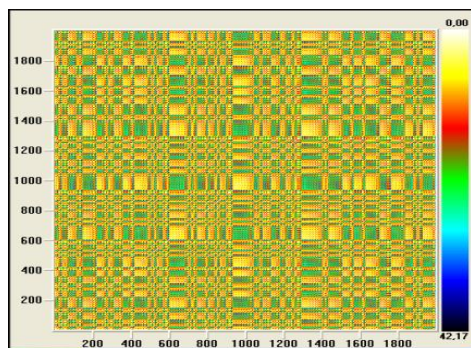


Gráfico 2. Análisis visual de recurrencia en serie varicela,

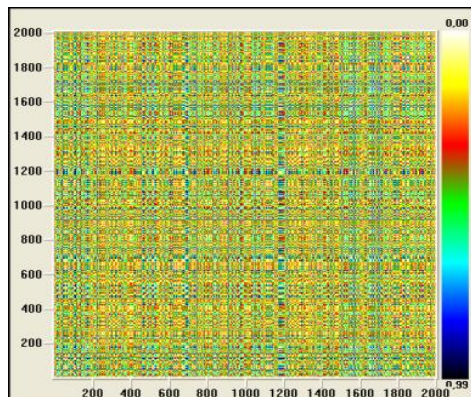


Gráfico 3. Análisis visual de recurrencia en serie series alea-

toria

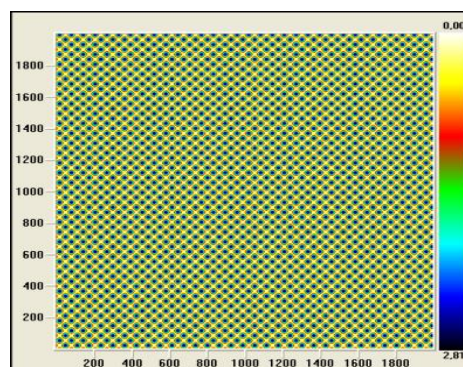


Gráfico 4. Análisis visual de recurrencia en serie periódica (función seno).

Menos evidente fueron los patrones de caos encontrados en las series de sífilis y enfermedades diarreicas agudas (Gráfico 5). La primera también descrita por INLAR mientras que en la segunda no se había detectado este tipo de dinámica.

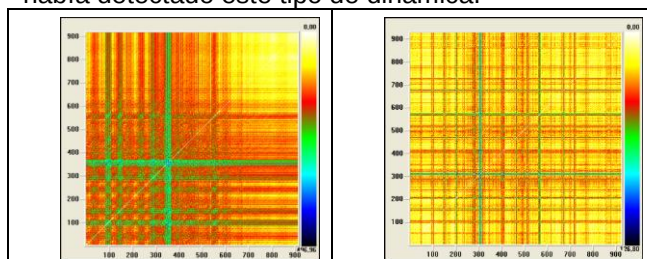


Gráfico 5. Análisis visual de recurrencia en serie de sífilis y enfermedades diarreicas agudas

Es conocido que tanto la varicela como las enfermedades diarreicas agudas tienen un comportamiento estacional, generalmente relacionado con la época de verano y para el caso de la varicela puede ser relacionado un alza en el número de casos con el inicio del curso escolar. Este fenómeno pudiera explicar alguna tendencia del atractor hacía una órbita regular.

Exponente de Hurst

El exponente de Hurst es una medida usada frecuentemente para evaluar la autosimilitud a diferentes escalas y detectar el grado de dependencia de la serie a medida que transcurre el tiempo(28,29). Se puede observar que H para el caso de la varicela, hepatitis viral, herpes zoster y meningoencefalitis bacteriana es 0.6, lo que sugiere persistencia en las series ($0, 5 < H < 1$). Por su parte en la blenorragia, condilomas, escarlatina, leptospirosis y tuberculosis se muestra un coeficiente de Hurst de 0,5 que sugiere aleatoriedad. En relación a la sífilis, meningoencefalitis viral y enfermedades diarreicas aguda es posible destacar la anti-persistencia (Tabla 3).

Tabla 3. Exponente de Hurst según series de tiempo. Cuba 1990-2007

Series	Coefficiente de Hurst (H)
--------	---------------------------

Varicela	0,6
Hepatitis viral	0,6
Herpes Zoster	0,6
Meningoencefalitis bacteriana	0,6
Blenorragia	0,5
Condilomas	0,5
Escarlatina	0,5
Leptospirosis	0,5
Tuberculosis	0,5
Sífilis	0,4
Meningoencefalitis viral	0,3
Enfermedades diarreicas aguda	0,2

No se han encontrado ciclos, ni comportamiento estacionales en la serie cubana de sífilis, esto pudiera explicar por qué no se observan comportamientos regulares. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por INLAR (1).

Máximo exponente de Lyapunov (LLE)

Los exponentes de Lyapunov (λ) son una medición cuantitativa acerca de cuán sensible puede ser una serie a las condiciones iniciales. Se definen como el rango promedio de la divergencia entre dos trayectorias vecinas en el espacio de fase. Esta medida ofrece una idea de cuán predecible puede ser la dinámica del sistema (22,30,31). Además pueden ser usados para discriminar entre una dinámica caótica determinista y una señal periódica. A continuación se muestra la estimación realizada a partir del tiempo de retardo y la dimensión de incrustamiento calculada. Se observan máximos exponentes Lyapunov con valores positivos en casi todas las series. Comportamiento que es más acentuado en la serie de Blenorragia y varicela lo que puede estar relacionado con una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, propiedad que usualmente está presente en los sistemas caóticos (Tabla 4). Este resultado también concuerda con los obtenidos por otros métodos.

Tabla 4. Máximo exponente Lyapunov según serie de tiempo. Cuba 1995-2007

Series	Máximo exponente Lyapunov
blenorragia	1.05±0.10
varicela	0.92±0.10
condilomas	0.48±0.10
tuberculosis	0.37±0.05

herpes Zoster	0.30±0.04
escarlatina	0.29±0.05
sífilis	0.12±0.02
leptospirosis	0.12±0.06
meningoencefalitis bacteriana	0.08±0.02
enfermedades diarreicas agudas	0.05±0.02
hepatitis viral	0.05±0.02
meningoencefalitis viral	0.04±0.04

Dimensión de correlación

Así, si (D_c) es igual a uno indicará una serie con comportamiento de oscilaciones periódicas; si (D_c) es igual a dos una con oscilaciones cuasi periódicas; y si (D_c) es mayor a dos una serie con comportamiento caótico.

En los gráficos de recurrencia se puede observar que la dimensión de correlación se satura alrededor de una misma dimensión de incrustamiento. Esto es evidencia de comportamiento caótico o periódico. Este comportamiento solo está presente para el caso de la varicela (Gráfico 6). Se observa además que en la serie de varicela existe evidencias que hacen pensar en una dimensión fractal.

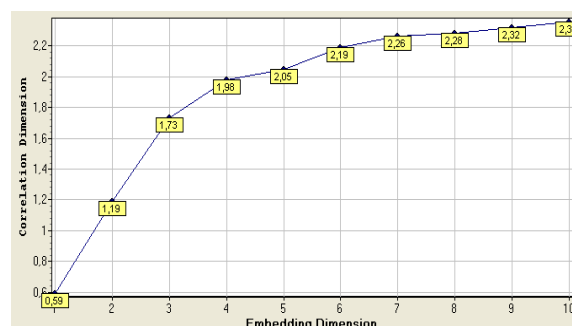


Gráfico 6. Dimensión de correlación en serie de varicela según dimensión de incrustamiento. Cuba. 1990-2008

3. CONCLUSIONES

Se puede distinguir que en algunas series cronológicas cubanas de enfermedades transmisibles como la de varicela, meningoencefalitis bacteriana, hepatitis, herpes zoster son detectados comportamientos caóticos a través de métodos de dinámica no análisis no lineal. Además se puede identificar algunas propiedades de los sistemas no lineales como auto similitud a diferentes escalas en la serie de varicela.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Monzón, M. Características de la dinámica en series cronológicas de enfermedades transmisibles seleccionadas. Cuba. 1995-2007. [INHEM]: ISCM-H; 2009.
2. Monzón M, Cáceres J, Argote KV. Análisis no lineal para la caracterización espaciotemporal de la epidemia de sarampión en Cuba. (1964-1993). RCIM. 7:0-91.
3. Cáceres JLH, Monzón MP, Domínguez LG, Castellanos MS, Martínez LH, Puente ET. Pre vaccination measles outbreaks in England and Wales: Nonlinear association analysis suggests a leading role for Preston. Electronic Journal of Biomedicine [Internet]. [citado 2012 oct 12];2006. Available a partir de: <http://www.biomed.uninet.edu/2006/n2/hcaceres.html>
4. Hernández Cáceres JL, Monzón MP. Non-linear properties of measles epidemic data assessed with a kernel nonparametric identification approach. Revista electrónica de biomedicina [seriada en Internet]. 2006;
5. Argote, K. MEM, Cáceres JLH, Monzón MP. Modelo «SIR» para epidemias: Persistencia en el tiempo y nuevos retos en la era de la Informática y las pandemias. [citado 2012 oct 12]; Available a partir de: <http://www.bvs.hn/cu-2007/ponencias/SLD/SLD126.pdf>
6. Coutin Marie G, Borges Soria J, Batista Moliner R, Zambrano Cárdenas A, Feal Cañizares P. Métodos para la vigilancia de eventos en salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. 2000 dic;38(3):157-66.
7. Coutin Marie G, Zambrano Cárdenas A. Comportamiento estacional de la mortalidad infantil en Cuba, 1987-2004. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. 2006 ago;44(2):0-0.
8. Young PC. Recursive Estimation and Time-Series Analysis: An Introduction for the Student and Practitioner [Internet]. Springer; 2011 [citado 2012 nov 28]. Available a partir de: http://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=X-h1i61ApDEC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Time+series&ots=s2m_CFq2leB&sig=sfXnyVOTGqc_n7__sTUF-prPjfg
9. Hannan EJ. Multiple time series [Internet]. Wiley; 2009 [citado 2012 nov 28]. Available a partir de: http://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=INhGjn_4f-QC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Time+series&ots=V1fjaJ34mM&sig=eCl7rwP23te4v-uT3k2u_eu9lk4
10. Anderson TW. The statistical analysis of time series [Internet]. Wiley; 2011 [citado 2012 nov 28]. Available a partir de: http://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=rCOzXC8ZLkC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Time+series&ots=lr35lnREQr&sig=9YB2iFKPiBMIT1RvZYdF-_FJ1p4
11. Koopman SJ. Time series analysis by state space methods [Internet]. OUP Oxford; 2012 [citado 2012 nov 28]. Available a partir de: <http://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=fOq39Zh0oIQc&oi=fnd&pg=PP2&dq=Time+series&ots=08a8o4sXwg&sig=GqdhZrEA8VOzIkq84E87SUU2ur4>
12. Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time series analysis: forecasting and control. Wiley; 2011.
13. Monzón M, Cáceres JLH, Vázquez K, Argote, K. Epidemiologic patterns among time series from selected transmissible diseases. Cuba. 1995-2007. [citado 2012 oct 12]; Available a partir de: http://www.rcim.sld.cu/revista_19/articulo_pdf/patro_nesepidemiologicos.pdf
14. Pérez MEM, Cáceres CJLH, Argote KV. Non linear analysis for a spatio-temporal characterization of the measles epidemic in Cuba (1964-1993). [citado 2012 oct 12]; Available a partir de: http://www.rcim.sld.cu/revista_18/articulos_pdf/analisnolineal.pdf
15. Radovanović M, Nanopoulos A, Ivanović M. Nearest neighbors in high-dimensional data: The emergence and influence of hubs. Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning [Internet]. 2009 [citado 2012 nov 28]. p. 865-72. Available a partir de: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1553485>
16. Ni LJ, Zhang LG, Xie J, Luo JQ. Pattern recognition of Chinese flue-cured tobaccos by an improved and simplified K-nearest neighbors classification algorithm on near infrared spectra. Analytica chimica acta. 2009;633(1):43-50.
17. Price CN, Westwick DT, Mintchev M. CLASSIFICATION OF BIOMEDICAL SIGNALS USING THE DYNAMICS OF THE FALSE NEAREST NEIGHBOURS (DFNN) ALGORITHM 1. Relation. 2008;10(1.68):5272.
18. Lifshits Y, Zhang S. Combinatorial algorithms for nearest neighbors, near-duplicates and small-world design. SODA [Internet]. 2009 [citado 2012 nov 28]. p. 5. Available a partir de: http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=1496806&type=pdf
19. Muja M, Lowe DG. Fast approximate nearest neighbors with automatic algorithm configura-

tion. International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISSAPP'09) [Internet]. 2009 [citado 2012 nov 28]. p. 331–40. Available a partir de:

http://image.ntua.gr/iva/files/MujaLowe_ICCVTA2009%20-%20Fast%20Approximate%20Nearest%20Neighbors%20with%20Automatic%20Algorithm%20Configuration.pdf

20. Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D. Recurrence plots of dynamical systems. EPL (Europhysics Letters). 2007;4(9):973.

21. Nieto de Alba U. Historia del tiempo en economía:(predicción, caos y complejidad). 1998 [citado 2012 nov 28]; Available a partir de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=96726>

22. Yang D, Yang P, Zhang C. Chaotic Characteristic Analysis of Strong Earthquake Ground Motions. International Journal of Bifurcation and Chaos [Internet]. 2012 [citado 2012 nov 26];22(03). Available a partir de: <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218127412500459>

23. Prajith P. Investigations on the applications of dynamical instabilities and deterministic chaos for speech signal processing. 2012 [citado 2012 nov 26]; Available a partir de: <http://117.240.228.70/handle/10603/3960>

24. Wernitz BA, Hoffmann NP. Recurrence analysis and phase space reconstruction of irregular vibration in friction brakes: Signatures of chaos in steady sliding. Journal of Sound and Vibration [Internet]. 2012 [citado 2012 nov 26]; Available a partir de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S022460X1200274X>

25. Grassberger P, Procaccia I. Characterization of strange attractors. Physical review letters. 1983;50(5):346–9.

26. Grassberger P, Procaccia I. Dimensions and entropies of strange attractors from a fluctuat-

ing dynamics approach. Physica D: Nonlinear Phenomena. 1984;13(1):34–54.

27. Grassberger P, Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors. Physica D: Nonlinear Phenomena. 1983;9(1):189–208.

28. Mitra SK. Is Hurst Exponent Value Useful in Forecasting Financial Time Series? Asian Social Science. 2012 jul;8(8):111–20.

29. Qi J, Yang H. Hurst exponents for short time series. Phys. Rev. E. 2011 dic 19;84(6):066114.

30. Liebovitch LS, Toth T. A fast algorithm to determine fractal dimensions by box counting. Physics Letters A. 1989;141(8):386–90.

31. Huke JP. Embedding nonlinear dynamical systems: A guide to Takens' theorem. 2006 [citado 2012 nov 26]; Available a partir de: <http://eprints.ma.man.ac.uk/175>

32. ANSI/AGMA ISO 17485-A08: Bevel Gears - ISO System of Accuracy, American Gear Manufacturers Association (AGMA), Alexandria, Virginia, USA, 2008.

5. SÍNTESIS CURRICULAR AUTOR

Maicel Eugenio Monzón Pérez, nacido en Cienfuegos el 27 de abril de 1978. Graduado de médico general básico en el año 2003 en la Facultad de Ciencias Médicas Dr. Raúl Dorticos Torrado. Egresado de la especialista en Bioestadística en el año 2008 en Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). Master en informática en salud desde el año 2006 por el CECAM. Diplomado en Minería de Datos y Reconocimiento de Patrones en el año 2009 en el CENATAV. Es profesor asistente del Instituto Superior de Ciencias Médicas de la Habana desde el año 2009. Es miembro de la Miembro Sociedad Cubana de Matemática así como de la Sociedad de Reconocimiento de Patrones. Dentro de su experiencia laboral se encuentra su responsabilidad a cargo de las investigaciones de la Misión Dr. José Gregorio Hernández y en el Centro Nacional de Genética Médica de la República Bolivariana de Venezuela, cargo que ocupó desde enero del 2010 hasta julio del 2012. Actualmente labora en el Centro de Cibernética Aplicada a la Medicina (CECAM) en el departamento de Bioinformática.