



Algoritmo para caracterizar agentes de innovación de la ciudad de México

Algorithm for characterizing innovation agents in Mexico city

Brenda García-Jarquín ^{1,*}, Mario Aguilar-Fernández ², Graciela Salgado-Escobar ³

¹ Instituto Politécnico Nacional. ESIMEZ-SEPI. Ciudad de México, México.

² Instituto Politécnico Nacional. UPIICSA- SEPI. Ciudad de México, México.

³ Instituto Politécnico Nacional. UPIICSA-DEPG. Ciudad de México, México.

*jarquin_garcia@yahoo.com.mx

(recibido/received: 18-mayo-2022; aceptado/accepted: 15-julio-2022)

RESUMEN

La innovación y el cambio tecnológico son el motor de la competitividad nacional, del desarrollo y el crecimiento económico a largo plazo. En este documento se construyó un modelo de dinámica de sistemas para generar tres series de tiempo sobre índices de innovación futuros (2014-2024) en empresas mexicanas de: productos, procesos y productos-procesos. Los resultados obtenidos indican la existencia del comportamiento de escalamiento dinámico tipo ansatz de Family-Viscek para la cinética de rugosidad de una interfaz en movimiento. Por lo tanto, se espera que la dinámica de los índices de innovación de empresas manufactureras, en la Ciudad de México y en México, sea descrita y pronosticada por la ecuación tipo Langevin $\frac{\partial V}{\partial \tau} = \Phi \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right) + \eta(\tau, t) + F$. Lo anterior puede ser un soporte robusto para que las autoridades gubernamentales mexicanas estén en mejores condiciones para analizar el impacto de las políticas de innovación, tanto a nivel local como nacional.

Palabras claves: Algoritmo, caracterización, innovación tecnológica, teoría de fractales, México.

ABSTRACT

Innovation and technological change are the engine of national competitiveness, economic development, and long-term growth. In this document, a system dynamics model was constructed to generate three time series index futures innovation (2014-2024) in Mexican firms: products, processes, and products-processes. The results indicate the existence of dynamic scaling behavior ansatz from Family-Viscek to roughness kinetics for a moving interface. Therefore, it is expected that the dynamics of innovation rates of manufacturing firms in the Mexico City and Mexico, is described and predicted by the standard Langevin equation $\frac{\partial V}{\partial \tau} = \Phi \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right) + \eta(\tau, t) + F$. This can be a strong support for the Mexican government authorities are better able to analyze the impact of innovation policies, both locally and nationally.

Keywords: Algorithm, characterization, technological innovation, fractals theory, México.

1. INTRODUCCIÓN

En esta era de la economía del conocimiento, el cambio en el patrón del pensamiento humano se basa en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, lo cual se refleja en la innovación. La innovación y el cambio

tecnológico son el motor de la competitividad nacional, del desarrollo y el crecimiento económico a largo plazo. Por lo que, la innovación es la fuerza motriz que impulsa a las empresas, instituciones y territorios, a la renovación de estructuras productivas y de gestión, y al surgimiento de nuevos sectores de actividad económica y de empleo (Llorens, 2008). En las empresas la innovación conduce a la generación de ventajas competitivas sostenibles e impulsa la productividad y rentabilidad (Aboites y Corona, 2011). En América Latina y el Caribe el índice promedio de innovación entre las empresas manufactureras, es decir, la proporción de empresas que innovan al introducir un producto o un nuevo proceso o considerablemente mejorado, es del 28% (CONACYT-INEGI, 2006).

Así, en la actualidad se presenta un crecimiento significativo en temas relacionados con los Sistemas de Innovación (SI), y su uso como una herramienta para crear ventajas competitivas de países y regiones. De modo que tradicionalmente se había considerado a la innovación como un proceso lineal, como una secuencia de actividades o fases que tenía como punto de partida la generación de nuevo conocimiento que continuaba con la aplicación y explotación comercial de dicho conocimiento, y culminaba con la difusión. Esta interpretación de la innovación es lo que en términos genéricos se ha denominado en la literatura como el “modelo lineal de innovación” (Fernandez *et al.*, 2011). Sin embargo, Nelson (1993) propuso que la evolución del concepto de innovación que surge de un modelo lineal en el que la política de investigación y desarrollo, es el punto de partida hacia un modelo sistémico en el que la innovación nace de interacciones complejas entre los individuos, las organizaciones y sus respectivos entornos operativos, demuestra que las políticas de la innovación no deben concentrarse solamente en la relación entre innovación e investigación (Echeverría y Merino, 2011).

De este modo, los SI pasan a ser sistemas dinámicos y colectivos (Gabaldón-Estevan *et al.*, 2012) de naturaleza socio-técnica, y se comportan como redes donde confluyen múltiples actores sociales que comparten información y conocimiento (Galarraga *et al.*, 2011), por lo tanto, los SI deben ser estudiados, caracterizados y modelados dentro del marco de la complejidad, ya que la complejidad es el patrón del pensamiento posmodernista y está en armonía con la visión holística de los sistemas suaves en los que se manifiestan las relaciones interpersonales. Una herramienta cuantitativa no lineal que se emplea para caracterizar y modelar la dinámica de los sistemas es la geometría fractal o teoría de fractales, cuyo paradigma comprende tres enfoques principales: teórico, computacional y experimental. Por lo que en el presente documento se desarrolla un algoritmo de caracterización de la dinámica de los agentes que forman parte de los SI, utilizando la geometría fractal; esto con el fin de buscar la emergencia de patrones (a diferentes escalas de tiempo-espacio) que permitan conocer la dinámica de la innovación en las empresas e instituciones gubernamentales. Con el hallazgo de dichos patrones se estará en posibilidad de modelar (construir algoritmos y modelos) y simular los aspectos relevantes que propicien el mejor desarrollo de los SI.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La dinámica interna de muchos sistemas complejos reales frecuentemente se estudia a través del análisis de las series de tiempo de sus fluctuaciones (Balankin, 2007; Kantz y Schreiber, 1997). Desde el punto de vista estadístico, las fluctuaciones de series de tiempo $z(t)$ se caracterizan normalmente por sus retornos logarítmicos $v(t, \tau) = \ln[z(t)/z(t + \tau)]$ para un intervalo de tiempo fijo τ (Plerou *et al.*, 1999; Krawiecki *et al.*, 2002; Constantin y Das Sarma, 2005). Se han efectuado muchos estudios para analizar las series de tiempo de variables dinámicas a partir de sistemas físicos, biológicos y financieros (Balankin y Morales, 2005; Balankin, 2007). Debido a que las variables observables resultantes asociadas con fluctuaciones en cada momento son el producto de la magnitud y signo del retorno logarítmico, investigaciones recientes se han enfocado en el estudio de correlaciones del valor absoluto y en el signo de las series de tiempo (Podobnik *et al.*, 2005; Balankin *et al.*, 2006). Se ha encontrado que el valor absoluto de los retornos logarítmicos $V(t + \tau) = |V|$ de muchas series de tiempo del mundo real exhiben correlaciones de leyes de potencia a largo plazo (Plerou *et al.*, 1999; Oleschko *et al.*, 2002; Balankin y Morales, 2005; Balankin *et al.*, 2006;

Podobnik *et al.*, 2005; Balankin *et al.*, 2006; Ashkenazy *et al.*, 2001), indicando que el sistema no responde inmediatamente a una cantidad de información fluyendo hacia él, pero reacciona a dicha información gradualmente en cierto periodo de tiempo (Balankin y Morales, 2005; Balankin, 2007). De acuerdo con esto, el análisis de las propiedades de escalamiento de las fluctuaciones ha demostrado ofrecer información importante relacionada con los procesos subyacentes responsables del comportamiento macroscópico observado en los sistemas del mundo real (Balankin, 2007; Kantz y Schreiber, 1997; Plerou *et al.*, 1999; Krawiecki *et al.*, 2002; Constantin y Das Sarma, 2005; Balankin y Morales, 2005; Podobnik *et al.*, 2005; Balankin *et al.*, 2006; Ashkenazy *et al.*, 2001).

La memoria a largo plazo en las series de tiempo de fluctuaciones es comúnmente analizada a través de un estudio de su función de estructura, definida como $\sigma(\tau, \delta t) = \langle [V(t + \delta t, \tau) - V(t, \tau)]^2 \rangle^{1/2}$, donde la barra superpuesta denota el promedio de todas las t en series de tiempo de longitud $t - \tau$ (T es la longitud de las series de tiempo $z(t)$) y los corchetes cuadrados denotan el promedio de todas las realizaciones de la ventana de tiempo de tamaño δt (Plerou *et al.*, 1999; Krawiecki *et al.*, 2002; Constantin y Das Sarma, 2005). Se encontró que la función de estructura del valor absoluto de los retornos logarítmicos, generalmente, exhiben el comportamiento de ley de potencia.

$$\sigma \propto (\delta t)^\zeta, \quad (1)$$

Aun cuando la serie de tiempo $z(t)$ parezca errática y sus retornos logarítmicos $v(t, \tau)$ sean aparentemente aleatorios (Plerou *et al.*, 1999; Krawiecki *et al.*, 2002; Constantin y Das Sarma, 2005; Oleschko *et al.*, 2002; Balankin y Morales, 2005). El exponente de escalamiento ζ , también conocido como exponente de Hurst, caracteriza la intensidad de las correlaciones a largo plazo en el comportamiento de fluctuación (Ramasco *et al.*, 2000). Se ha demostrado que el conocimiento de ζ es muy útil también para propósitos prácticos (Plerou *et al.*, 1999; Krawiecki *et al.*, 2002; Constantin y Das Sarma, 2005; Oleschko *et al.*, 2002; Balankin y Morales, 2005). Sin embargo, el comportamiento de escalamiento (1) caracteriza las correlaciones en una serie de tiempo de retornos logarítmicos tratada de manera análoga a una interfaz rugosa en dimensiones (1+1) (Ramasco *et al.*, 2000; Antal *et al.*, 2001; Barabási y Stanley, 1995).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en el análisis para la caracterización de la innovación en México se basó en cinco procesos, los cuales sintetizan en la figura 1. De forma descriptiva, la metodología consistió, primeramente, en desarrollar y programar un algoritmo en lenguaje *Fortran 90* para caracterizar y predecir la dinámica de fluctuaciones de los índices de innovación de las empresas manufactureras en México. Dichos índices de innovación (de productos, procesos y combinado productos-procesos) reflejan las interrelaciones entre los diversos agentes que propician la innovación en el SI, a fin de identificar los patrones o mecanismos que gobiernen la innovación tecnológica de un país, región, o Estado. Debido a la falta de registros históricos de las variables que reflejen el comportamiento global del Sistema de Innovación en México, se analizó el porcentaje de empresas que sólo realizan innovaciones de productos; el porcentaje de empresas que sólo realizan innovaciones de procesos; y el porcentaje de empresas que realizan innovaciones de productos y procesos. A dicho porcentaje también se le denomina índice de innovación (cantidad de empresas que introducen innovaciones a nivel de productos o de procesos) (World Bank Institute, 2008), y tiene el fin de describir el comportamiento de las empresas manufactureras en México, a partir de la simulación en un modelo basado en dinámica de sistemas.

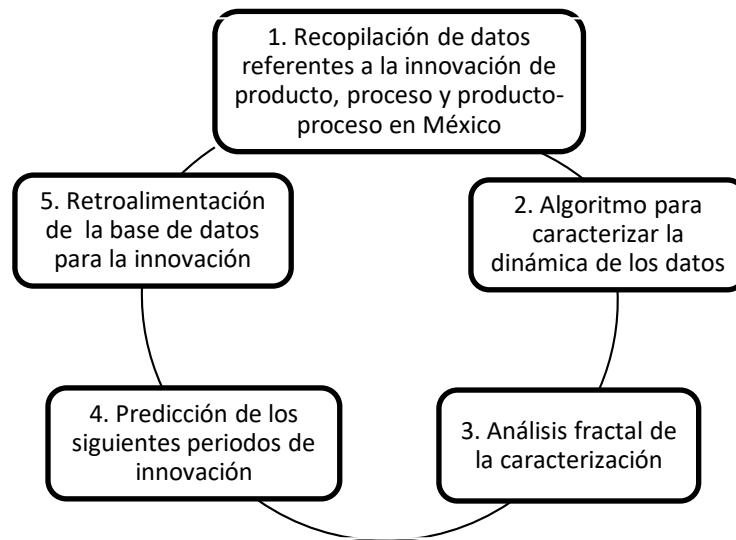


Figura 1. Esquema sintético de la metodología desarrollada para caracterizar la dinámica de innovación tecnológica en México.

Dado que México no cuenta con un sistema de información oficial sobre los índices de innovación históricos, se construyó un modelo de dinámica de sistemas (con el software *ithink 8.0*) para predecir su comportamiento (Ithink Software, 2013). Ver figura 2.

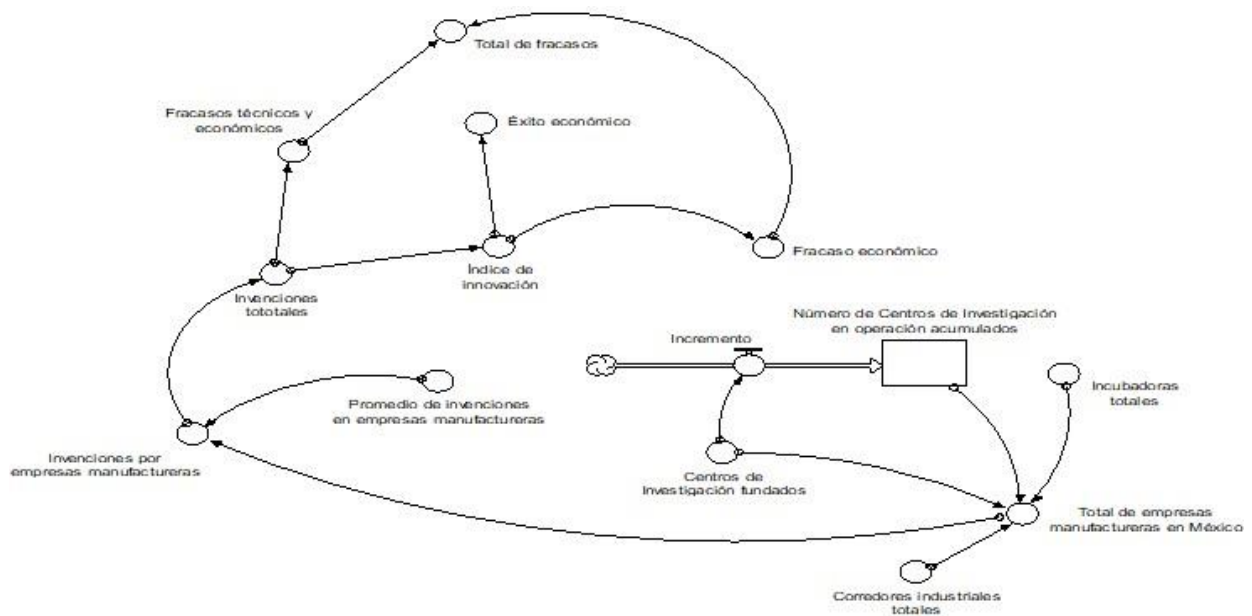


Figura 2. Modelo de dinámica de sistemas para predecir el índice de innovación en las empresas manufactureras en México.

El modelo de la figura 2, tiene dos objetivos fundamentales: por un lado, predice la cantidad de empresas manufactureras en México en un horizonte de 11 años (2014-2024), basándose en el número de centros de investigación, incubadoras y corredores industriales; y, por otro lado, y con la información obtenida del número de empresas manufactureras en México, se calcula el índice de innovación, con base en el promedio

de invenciones. Se obtuvieron series de tiempo de 2,000 datos cada una, correspondientes a los índices de innovación (o porcentajes de empresas manufactureras mexicanas que realizan innovaciones de productos, procesos y un combinado productos-procesos). Como se señaló en la introducción, los SI, por ser sistemas socio-técnicos, deber ser estudiados, caracterizados y modelados dentro del marco de la complejidad, ya que la complejidad es el patrón del pensamiento Posmodernista y que está en armonía con la visión holística de los sistemas suaves. Los datos generados (2014-2024) con el modelo de dinámica de sistemas se validaron con la información de la Enterprise Surveys 2010 (CONACYT-INEGI, 2006).

La recopilación de información referente a la innovación en México, como ya se mencionó, ha sido una dificultad, ya que durante varios años no se han registrado los datos de estos índices y no fue sino hasta a partir de la década de 1990 que se empezó esta labor. Es por ello por lo que, en un inicio, se consideran los registros de Patentes en México, durante el periodo 1995-2020. El espacio de tiempo entre dichos registros diarios era considerable, por lo que se agruparon por meses en el periodo 2000-2020, obteniéndose una serie de tiempo de 87 registros mensuales; los datos de 1995 y de 1999 no se consideraron por ser insuficientes. Ver figura 3.

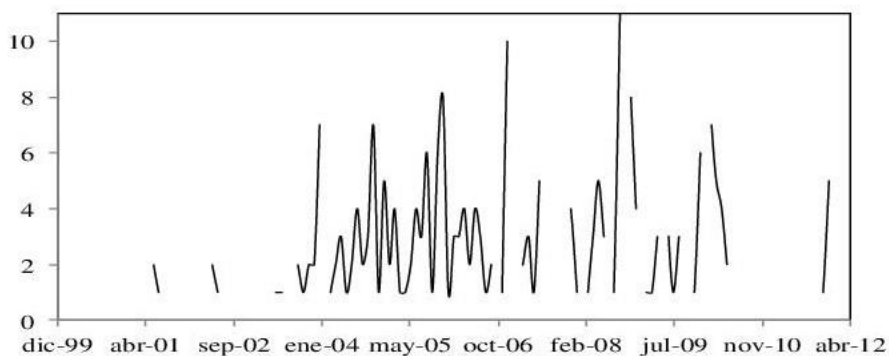


Figura 3. Registros mensuales de número de patentes registradas en México, en el periodo abril 2000-abril 2020.

Dado lo anterior, se generaron series de tiempo de índices de innovación de las empresas manufactureras en México por productos, procesos y un combinado productos-procesos, mediante la construcción de un modelo de dinámica de sistemas que representara cómo los agentes del sistema de innovación interactúan. Dicho modelo se ilustra en la figura 4. Cada serie de tiempo generada contiene 2,000 datos proyectados para el periodo 2014-2024 (ver figuras 4, 5 y 6). Para cada serie de tiempo se obtuvieron 100 series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos, es decir, 300 series de tiempo de fluctuaciones del sistema de innovación en estudio [ver figuras 7(a)-7(f), 8(a)-8(f) y 9(a)-9(f)], a fin de aplicar la herramienta cuantitativa de la geometría fractal.

Posteriormente, una vez que se obtuvieron las series de tiempo, se realizó un análisis fractal (con la ayuda del software *Benoit 1.3*) a dichas series de las variables para hallar el comportamiento dinámico de innovación de productos y la innovación de procesos de las empresas, a fin de obtener los exponentes de escalamiento dinámico; con lo anterior, se determinaron los exponentes de escalamiento dinámico de las series de tiempo de fluctuaciones. El valor de dichos exponentes se ilustra en las figuras 10(a)-10(f), 11(a)-11(f), 12(a)-12(f) y 13(a)-13(b) (para el exponente de Hurst o de rugosidad, ζ), y 14 (para el exponente de crecimiento de fluctuaciones, β).

Después, se construyó y programó un algoritmo en *Fortran 90* para la caracterización de agentes de innovación en México, a fin de proporcionar información que soporte la toma de decisiones de los responsables del ICyT, con respecto a políticas de innovación alternativas. Las gráficas de las series de tiempo de los índices de innovación (2014-2024), en formato de *Excel*, se presentan en las figuras 4, 5 y 6.

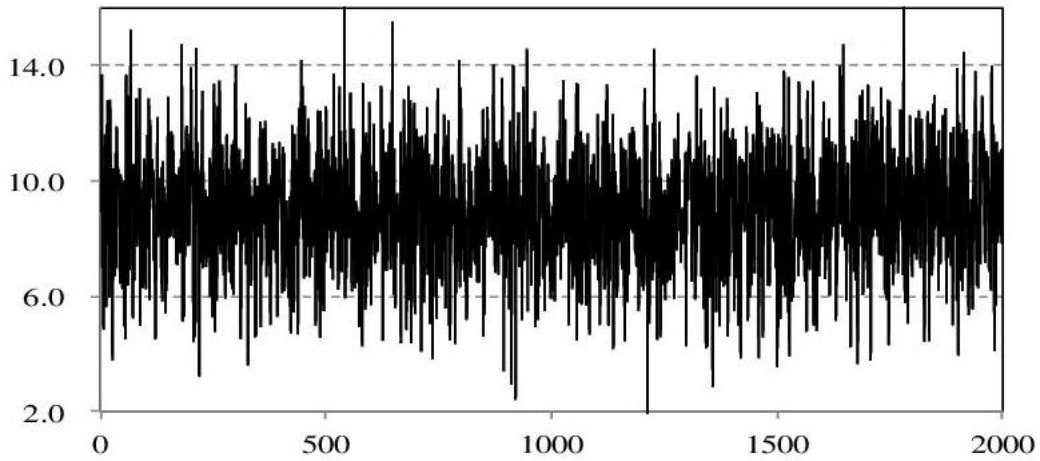


Figura 4. Serie de tiempo del índice de innovación en productos por parte de empresas manufactureras en México para el periodo 2014-2024.

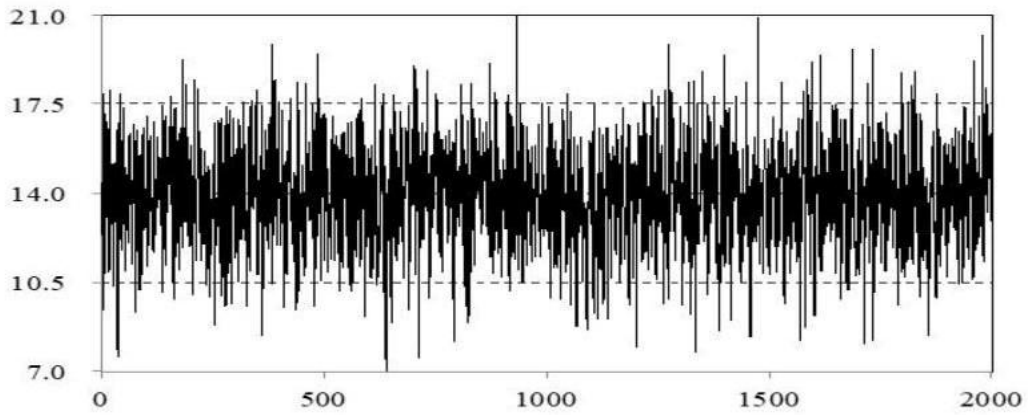


Figura 5. Serie de tiempo del índice de innovación en procesos por parte de empresas manufactureras en México para el periodo 2014-2024.

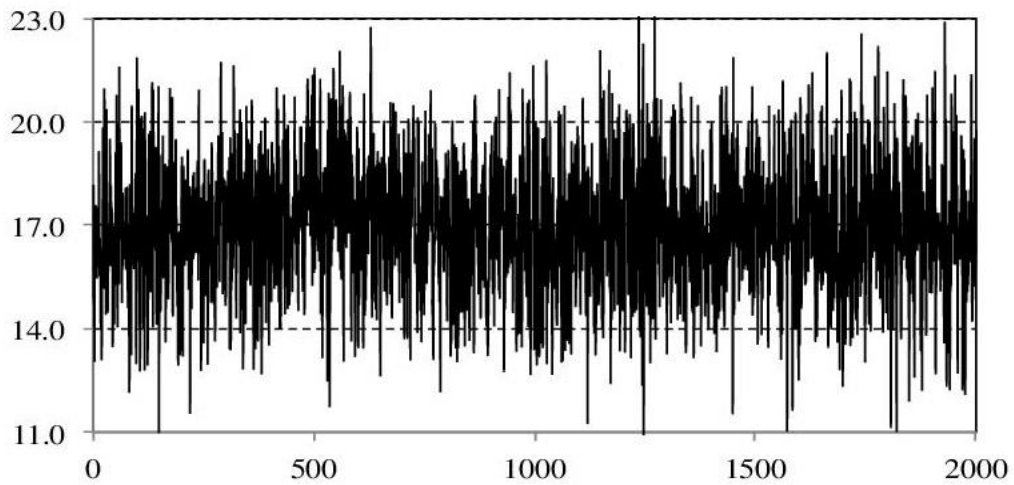


Figura 6. Serie de tiempo del índice de innovación del combinado productos-procesos por parte de empresas manufactureras en México para el periodo 2014-2024.

Una mejor comprensión física de la dinámica de fluctuaciones requiere una adecuada descripción de las propiedades de correlación de las variables locales en diferentes intervalos de tiempo (Balankin y Morales, 2005). En este módulo del proyecto se aplica un enfoque para entender correctamente la dinámica de las series de tiempo de fluctuaciones, al estudiar el valor absoluto de retornos logarítmicos para diferentes intervalos. Específicamente, se tratan las series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos como una interfaz en movimiento $V(t, \tau)$, donde el intervalo de tiempo a considerar τ juega el papel de la variable de tiempo, mientras que el tiempo físico t juega el papel de la variable espacial (Balankin, 2007).

Dentro de este marco de referencia, se realizó el análisis dinámico de fluctuaciones en series de tiempo de los tres índices de innovación: productos, procesos y combinado productos-procesos (ver figuras 7, 8 y 9).

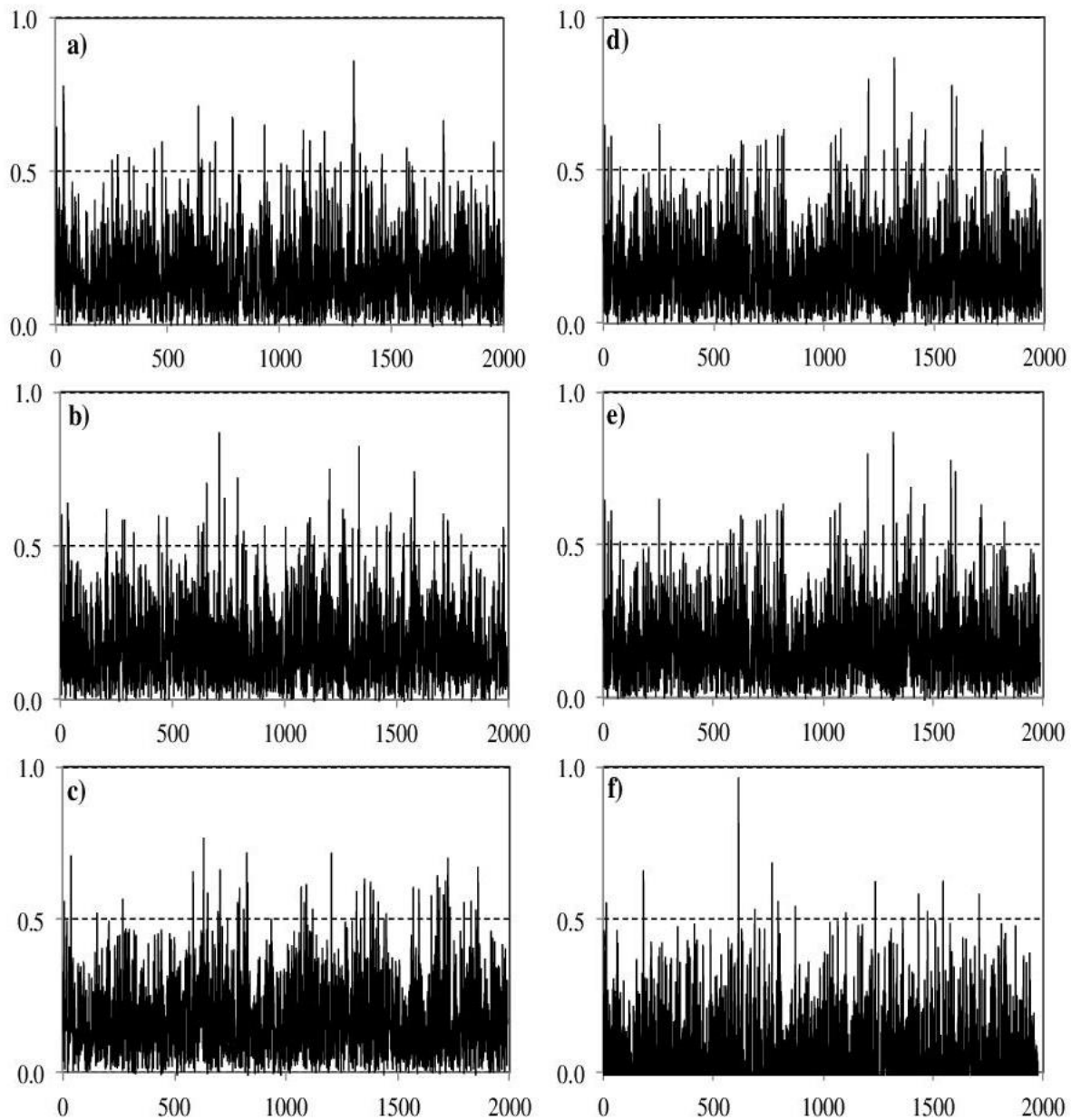


Figura 7. Series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos (fluctuaciones) $V(t_v, \tau)$ del índice de productos para diferentes intervalos de tiempo: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

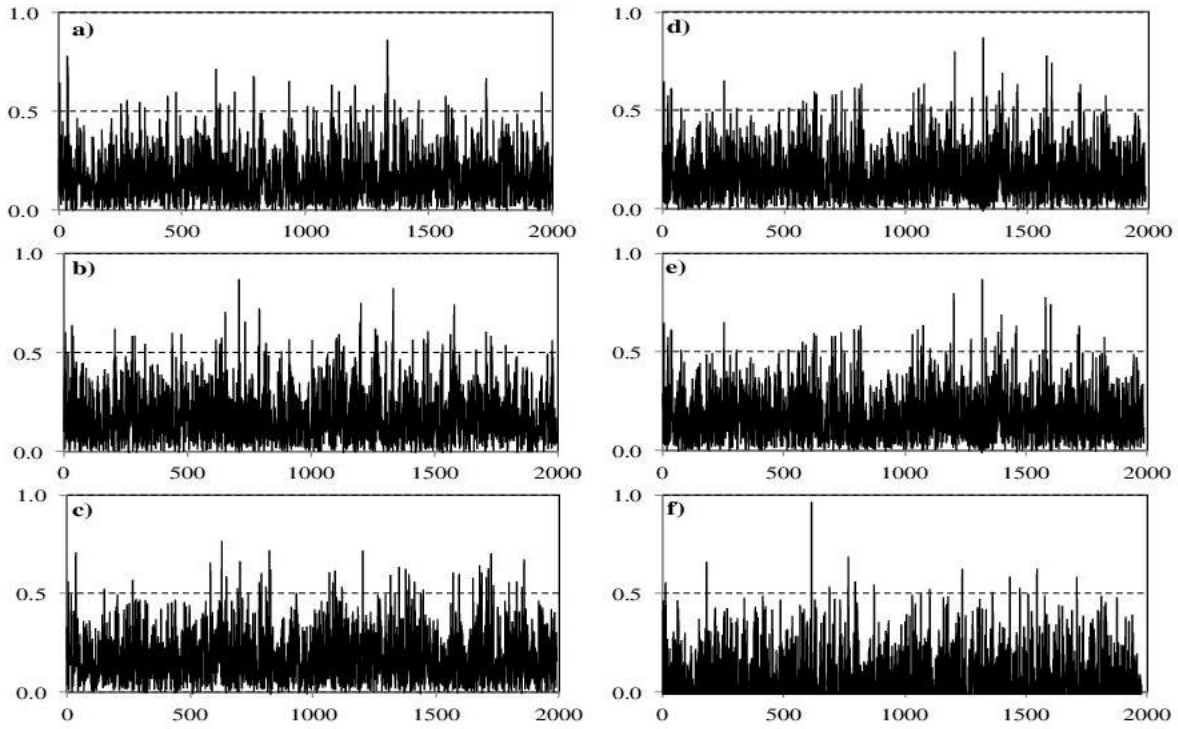


Figura 8. Series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos (fluctuaciones) $V(t_v, \tau)$ del índice de procesos para diferentes intervalos de tiempo: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

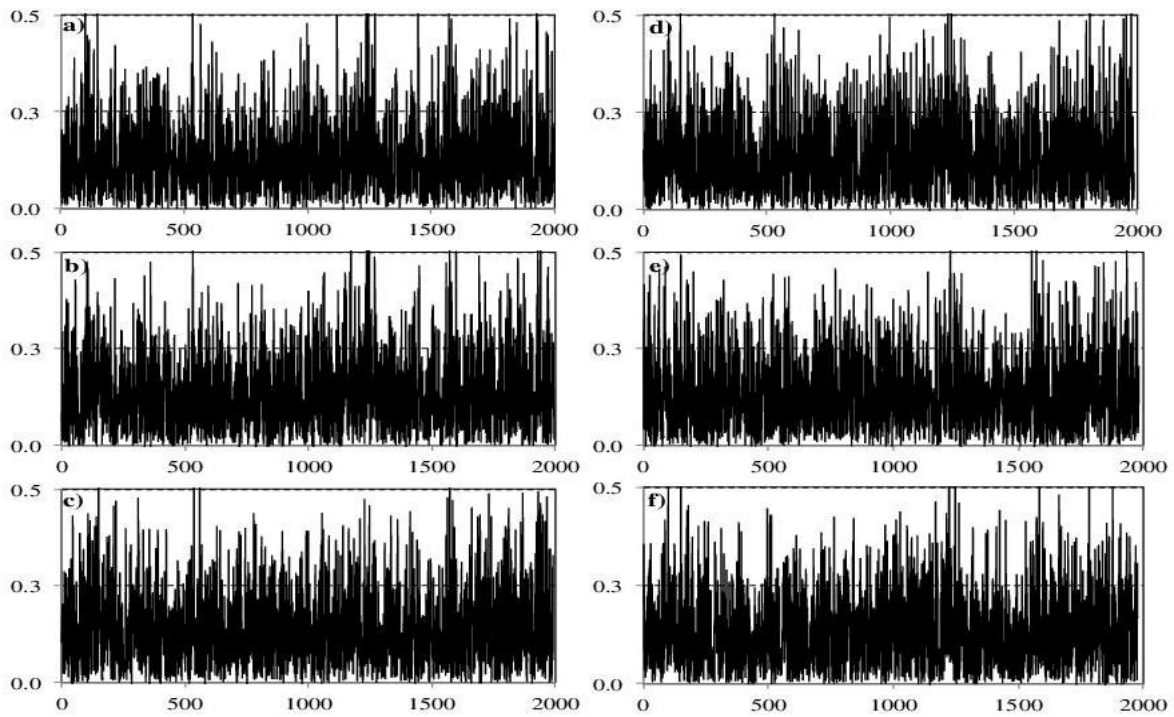


Figura 9. Series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos (fluctuaciones) $V(t_v, \tau)$ del índice combinado productos-procesos para diferentes intervalos de tiempo: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como ya se mencionó, para estudiar la dinámica de fluctuaciones, se analizaron las series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos, δt , de las series de tiempo originales, $z(t)$, de los índices de innovación de empresas de manufactura en México. La longitud de las series de tiempo originales fue $T = 2000$ y las muestras del valor absoluto de retornos logarítmicos (τ) fueron de 3, 5, 10, 15, 20 y 25.

Se aprecia principalmente la similitud visual entre las series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos con muestras a diferentes intervalos [ver figuras 7(a)-7(f), 8(a)-8(f) y 9(a)-9(f)]. Desde el punto de vista cuantitativo, la auto-afinidad de las series de tiempo de fluctuaciones está caracterizada por el comportamiento de escalamiento (1), como se ilustra en las gráficas de las figuras 10(a)-10(f), 11(a)-11(f), 12(a)-12(f), 13(a)-13(c) y 14(a)-14 (López *et al.*, 2006) para las fluctuaciones de los índices de innovación: productos, procesos y combinado productos-procesos. Nótese que las funciones de estructura despliegan un comportamiento de ley de potencia (1) con $\zeta(\tau) = 0.44$ dentro de un limitado rango de intervalos de δt [ver figuras 12(a)-12(c)], con δt incrementándose con τ como:

$$\delta t_c \propto \tau^{1/z}, \quad (2)$$

donde z es el exponente dinámico. Asimismo, se encontró que la función de estructura del valor absoluto de retornos logarítmicos también escala con el intervalo de la muestra τ como:

$$\sigma \propto \tau^\beta, \quad (3)$$

donde $\beta = 0.13$ es el exponente de crecimiento de la fluctuación, ver figuras 14(a)-14 (López *et al.*, 2006)

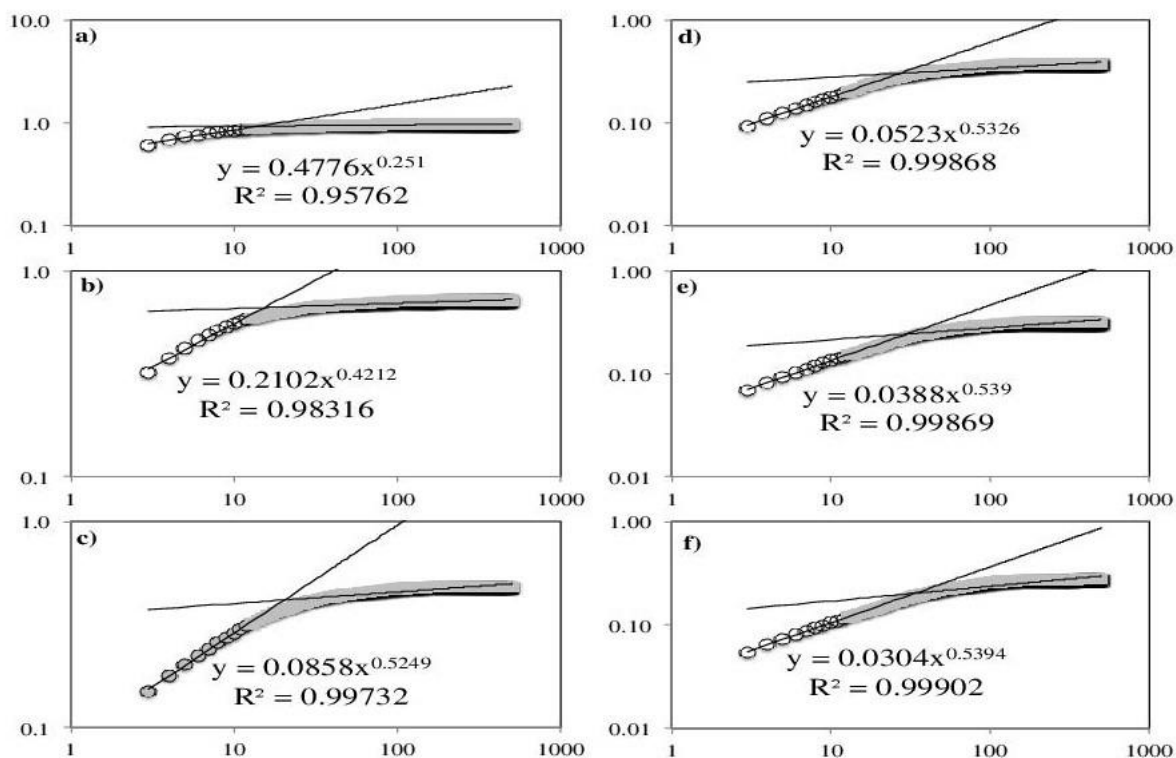


Figura 10. Escalamiento dinámico de fluctuaciones del índice de innovación de productos $\sigma(\tau, \delta t)$ (en unidades arbitrarias) versus δt ($2 \leq \delta t \leq 101$) para: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

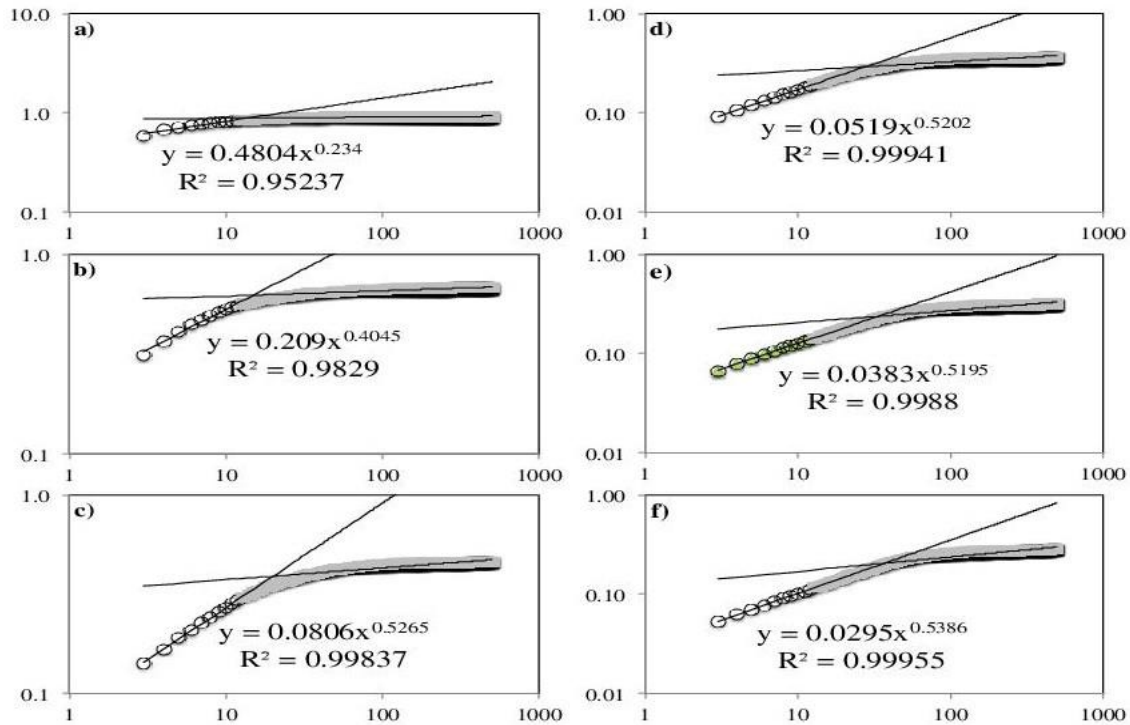


Figura 11. Escalamiento dinámico de fluctuaciones del índice de innovación de procesos $\sigma(\tau, \delta t)$ (en unidades arbitrarias) versus δt ($2 \leq \delta t \leq 101$) para: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

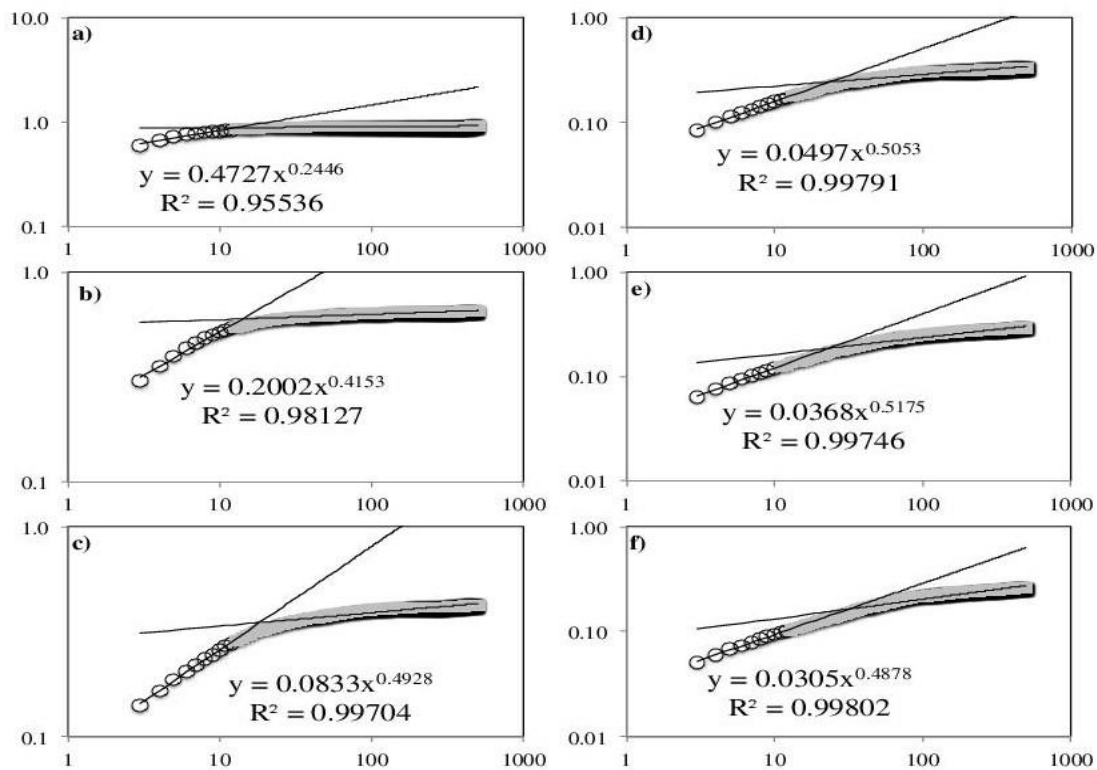


Figura 12. Escalamiento dinámico de fluctuaciones del índice de innovación combinado productos-procesos $\sigma(\tau, \delta t)$ (en unidades arbitrarias) versus δt ($2 \leq \delta t \leq 101$) para: a) $\tau = 3$, b) $\tau = 5$, c) $\tau = 10$, d) $\tau = 15$, e) $\tau = 20$ y f) $\tau = 25$.

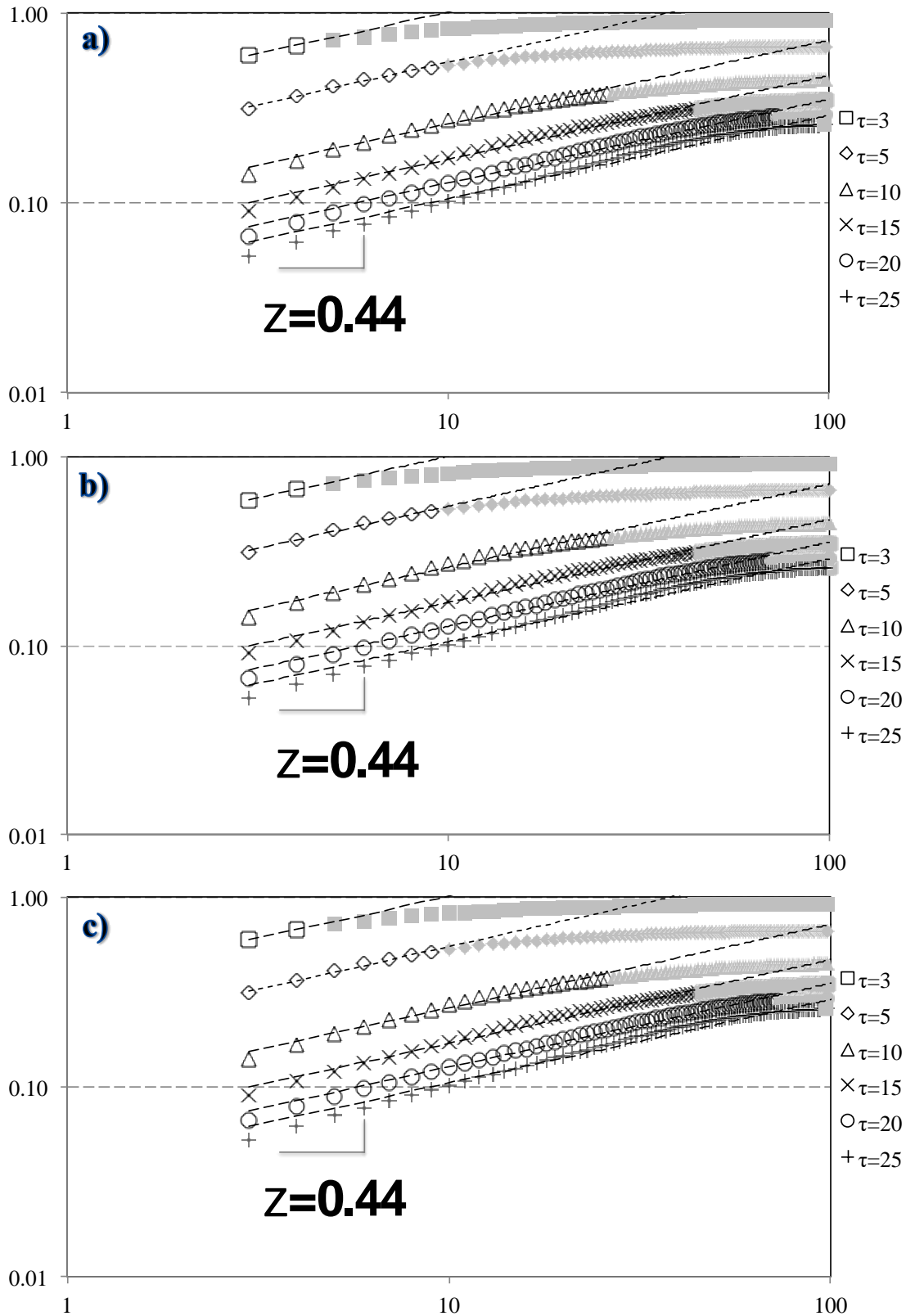


Figura 13. Escalamiento dinámico de fluctuaciones $\sigma(\tau, \delta t)$ (en unidades arbitrarias) del índice de innovación de: a) productos, b) procesos y c) combinado productos-procesos *versus* δt ($2 \leq \delta t \leq 101$) para: $\tau = 3$, $\tau = 5$, $\tau = 10$, $\tau = 15$, $\tau = 20$ y $\tau = 25$.

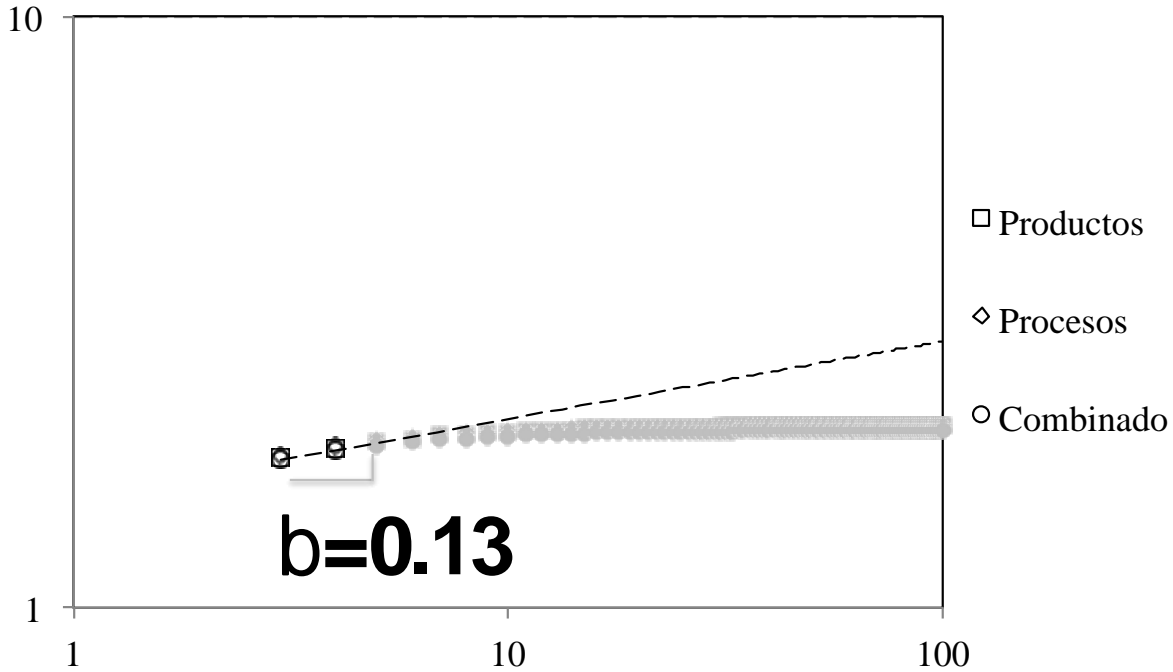


Figura 14. Estructura de función $\sigma(\tau, \delta t)$ (en unidades arbitrarias) versus τ (para: $\tau = 3$, $\tau = 5$, $\tau = 10$, $\tau = 15$, $\tau = 20$ y $\tau = 25$) del índice de innovación de: productos, procesos y combinado productos-procesos.

Como se puede apreciar 10(a)-10(f), 11(a)-11(f), 12(a)-12(f) y 13(a)-13(c), el sistema de innovación en México no responde inmediatamente a la cantidad de información que fluye a él mismo sino que reacciona gradualmente en cierto periodo, ya que, conforme se aumenta el intervalo de tiempo de las fluctuaciones (valor absoluto de los retornos logarítmicos), se tiene un mejor de las fluctuaciones y de la función de estructura de las mismas a una ley de potencia, incrementándose las correlaciones (o memoria) a largo plazo.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican la existencia del comportamiento de escalamiento dinámico análogo al escalamiento dinámico ansatz de Family-Viscek para la cinética de rugosidad de una interfaz en movimiento (Barabási y Stanley, 1995). De hecho, las relaciones de escalamiento (1)-(3) implican que la función de estructura de las series de tiempo de fluctuaciones exhibe el comportamiento de escalamiento dinámico (Balankin, 2007)

$$\sigma(\tau, \delta t) \propto \tau^\beta f_l(\delta t/\tau^{1/z}), \quad (4)$$

como se muestra en las figuras 13(a)-13(c) y 14(a)-14(c). En las gráficas de las figuras 13(a)-13(c) y 14(a)-14(c) cada punto representa el promedio de 100 series de tiempo del valor absoluto de retornos logarítmicos.

La dinámica de escalamiento (4), permite tratar la dinámica de fluctuaciones como la cinética de crecimiento de una interfaz en movimiento [figuras 7(a)-7(f), 8(a)-8(f) y 9(a)-9(f)]. Por ende, es factible aplicar las poderosas herramientas de la teoría de la cinética de rugosidad -derivadas de la geometría fractal- (Ramasco *et al.*, 2000; Antal *et al.*, 2001; Barabási y Stanley, 1995; Meakin, 1998) para caracterizar y modelar las series de tiempo de las fluctuaciones de sistemas complejos del mundo real.

De los resultados obtenidos [figuras 10(a)-10(f), 11(a)-11(f), 12(a)-12(f) y 13(a)-13(c)], al analizar las series de tiempo de fluctuaciones (valor absoluto de los retornos logarítmicos) de los índices de innovación generados con el modelo de dinámica (figura 2), se concluye que el sistema de innovación en México no

responde inmediatamente a la cantidad de información que fluye a el mismo sino que reacciona gradualmente en cierto periodo, ya que, conforme se aumenta el intervalo de tiempo, se tiene un mejor de las fluctuaciones y de la función de estructura de las mismas a una ley de potencia, incrementándose las correlaciones (o memoria) a largo plazo.

Dado lo anterior, se puede intentar establecer la clase de universalidad para la dinámica de fluctuación asociada con el conjunto de dos exponentes de escalamiento independientes, por ejemplo ζ y z , análoga a la clase de universalidad para fenómenos que implican la cinética de rugosidad (Barabási y Stanley, 1995; Ódor, 2004; Balankin, 2007).

Las clases de universalidad de la dinámica son determinadas por la dimensionalidad, las leyes de conservación, la simetría de los parámetros de orden, el rango de las interacciones y el acoplamiento de los parámetros de orden para las cantidades conservadas (Ódor, 2004; Balankin, 2007). Con el conocimiento de la clase de universalidad, es viable comprender los procesos fundamentales que gobiernan la dinámica del Sistema de Innovación de México. Por consiguiente, es posible construir la ecuación de la cinética que gobierna la dinámica de las fluctuaciones de los índices de innovación de las empresas manufactureras: productos, procesos, combinado de productos-procesos. Asimismo, la representación de las series de tiempo del valor absoluto de retornos logaritmos de los índices de innovación, como interfaces en movimiento, permite emplear las ecuaciones de cinética para la modelación de la dinámica de fluctuaciones, siempre y cuando pertenezcan a la misma clase de universalidad.

Es por esto por lo que se espera que la dinámica de las series de tiempo de fluctuaciones de los índices de innovación de empresas manufactureras en México sea descrita por la ecuación tipo Langevin

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = \Phi \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right) + \eta(\tau, t) + F, \quad (5)$$

donde F es la fuerza externa, en tanto que el término de ruido $\eta(\tau, t)$ y la forma real de la función Φ están determinadas por un modelo particular que obedece a la correspondiente clase de universalidad (Barabási y Stanley, 1995; Meakin, 1998; Balankin, 2007).

Como ejemplo de lo anterior, puede decirse que con el uso de suposiciones apropiadas sobre la dinámica del signo del retorno logarítmico (Balankin, 2007), los modelos de cinética de rugosidad pueden utilizarse para pronosticar las series de tiempo de variables dinámicas (índices de innovación) de los Sistemas de Innovación. De hecho, iniciando con el trabajo seminal de Black y Scholes (1973), la mayoría de los modelos de pronósticos de series de tiempo de sistemas económicos se basan en el modelo de representación para la volatilidad futura (valor absoluto de retornos logarítmicos) como un proceso estocástico apropiado, por ejemplo, el movimiento (fraccional) browniano (Weigend y Gershenfel, 1994; Bouchaud y Potters, 2003; Mantegna y Stanley, 2000).

Los resultados obtenidos dan la esperanza de emplear una ecuación apropiada tipo Langevin (5) para simular el comportamiento futuro de los índices de innovación en las empresas manufactureras en México, siempre y cuando se tengan registros históricos de dichos índices. Esta predicción de los índices de innovación, de manera complementaria a la obtenida con el modelo de dinámica de sistemas desarrollado (figura 3), puede ser un soporte robusto para que las autoridades del gobierno mexicano estén en mejores condiciones de analizar el impacto que pueden tener las políticas de innovación para operar en Sistema de Innovación, tanto a nivel local como a nivel nacional.

REFERENCIAS

- Aboites, J., & Corona, J. (2011). *Economía de la innovación y Desarrollo* (Primera ed.). México: UAM-X & Grupo Editorial Siglo XXI.
- Antal, T., Droz, M., Györgyi, G., & Rácz, Z. (2001). $1/f$ noise and extreme value statistics. *Physical Review Letters*, *87*(24), 24601. doi:10.1103/PhysRevLett.87.240601
- Ashkenazy, Y., Ivanov, P. C., Haylin, S., Peng, C.-H., Goldberger, A., & Stanley, H. (2001). Magnitude and sign correlations in heartbeat fluctuations. *Physical Review Letters*, *86*(9), 1900-1903.
- Balankin, A. (2007). Dynamic scaling approach to study time series fluctuations. *Physical Review E*, *76*(5), 056120.
- Balankin, A., & Morales, O. (2005). Devil's-staircase-like behavior of the range of random time series with record-breaking fluctuations. *Physical Review E*, *71*(6), 065106.
- Balankin, A., García, R., Susarrey, O., Morales, D., & Castrejon, F. (2006). Kinetic Roughening and Pinning of Two Coupled Interfaces in Disordered Media. *Physical Review Letters*, *96*(5), 056101.
- Barabási, A.-L., & Stanley, H. (1995). *Fractal Concepts in Surface Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *The Journal of political economy*, *81*(3), 637-654.
- Bouchaud, J.-P., & Potters, M. (2003). *Theory of Financial Risk and Derivative Pricing: From Statistical Physics to Risk Management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CONACYT-INEGI. (2006). *Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET)*. México. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/esidet/2006/>
- Constantin, M., & Das Sarma, S. (2005). Volatility, persistence, and survival in financial markets. *Physical Review E*, *72*(5), 051106.
- Echeverría, J., & Merino, L. (2011). Cambio de paradigma en los estudios de innovación: el giro social de las políticas europeas de innovación. *Arbor*, *187*(752), 1031-1043.
- Fernandez, I., Vega, J., & Gutiérrez, A. (2011). Ciencia e innovación: una relación compleja y evolutiva. *Arbor*, *187*(752), 1077-1089.
- Gabalón-Estevan, D., Fernández, I., & Molina, F. (2012). Sistemas distrituales de innovación. *Arbor*, *188*(753), 63-73.
- Galarraga, A., Luna, A., González, S., & Massa, M. (2011). Discursos y praxis de la innovación en entidades de la CA del País Vasco: Un análisis aplicado. *Arbor*, *187*(752), 1065-1076.
- Ithink Software. (2013 de enero de 2013). *iseesystems*. (USA: iseesystems) Recuperado el enero de 2013, de <http://www.iseesystems.com/software/Business/ithinkSoftware.aspx>.
- Kantz, H., & Schreiber, T. (1997). *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Krawiecki, A., Holyst, J., & Helbing, D. (2002). Volatility clustering and scaling for financial time series due to attractor bubbling. *Physical Review Letters*, *89*(15), 158701.
- Llorens, F. A. (2008). Innovación, transferencia de conocimientos y desarrollo económico territorial: una política económica pendiente. *Arbor*, *184*(732), 687-700. doi:10.3989/arbor.2008.i732.215.

López, M. S., Mejía, J. C., & Schamal, R. (2006). Un Acercamiento al Concepto de la Transferencia de Tecnología en las Universidades y sus Diferentes Manifestaciones. *Panorama Socioeconómico*, 24(32), 70-81.

Mantegna, R., & Stanley, H. (2000). *An Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance*. Cambridge: Cambridge University Press.

Meakin, P. (1998). *Fractal, Scaling and Growth Far from Equilibrium*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nelson, R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press: New York.

Ódor, G. (2004). Universality classes in nonequilibrium lattice systems. *Reviews of Modern Physics*, 76(3), 663-724.

Oleschko, K., Korvin, G., Figueroa, B., Vuelvas, M., Balankin, A., Flores, L., & Carreón, D. (2002). Fractal scattering of microwaves from soils. *Physical Review Letters*, 89(18), 188501.

Plerou, V., Gopikrishnan, P., Rosenow, B., Amaral, L., & Stanley, H. (1999). Universal and Non-Universal Properties of Cross-Correlations in Financial Time Series. *Physical Review Letters*, 83(7), 1471-1474.

Podobnik, B., Ivanov, P., Biljakovic, K., Horvatic, D., Stanley, H., & Grosse, I. (2005). Fractionally integrated process with power-law correlations in variables and magnitudes. *Physical Review E*, 72(2), 026121.

Ramasco, J. J., López, J. M., & Rodríguez, M. A. (2000). Generic Dynamic Scaling in Kinetic Roughening. *Physical Review Letters*, 84(10), 2199-2202.

Weigend, A. S., & Gershenfel, N. A. (1994). *Times Series Prediction: Forecasting the future and Understanding the Past*. Nueva York: Addison-Wesley.

World Bank Institute. (2008). *Measuring Knowledge in the World's Economies*. Estados Unidos: The World Bank.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES

Brenda García-Jarquín: Es ingeniero industrial de formación; cursó una maestría en Ingeniería Industrial en el IPN, así como el doctorado en Ingeniería de Sistemas en la misma institución. Realizó estancia de investigación en Mondragón Unibersitatea en el País Vasco en España. Su actividad académica se centra en el análisis de sistemas de innovación a través de sistemas complejos y metodologías sistémicas como modelado y simulación. Es autora de artículos científicos, libros, capítulos y ha participado en congresos y seminarios nacionales e internacionales.

Mario Aguilar-Fernández: Doctor en Ingeniería Industrial en Planificación Estratégica de la Tecnología por el CADIT, de la Universidad Anáhuac del Norte. Doctor en Ingeniería de Sistemas por la ESIMEZ del IPN. Integrante del núcleo académico básico de la Maestría en Ingeniería Industrial y de la Maestría en Ciencias en Estudios Interdisciplinarios para Pequeñas y Medianas Empresas, de la UPIICSA del IPN, México. Es autor de artículos científicos (JCR y SCOPUS), libros, capítulos, y ha participado en congresos nacionales e internacionales.

Graciela Salgado-Escobar: Integrante del departamento de Estudios Profesionales Genéricos de la UPIICSA del IPN, México. Es Administradora Industrial, maestría en Administración de la Educación por la ESCA del IPN, y doctorado en Educación de la Universidad OMI Centro de investigación. Ha participado en congresos nacionales sobre investigación educativa.