



Comportamiento fractal de la movilidad académica

María de Lourdes López Morales

Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Comercio y Administración, Unidad Santo Tomás

llopez@ipn.mx

Eje temático 1. El impacto de la innovación educativa en ciencia, tecnología y sociedad.

Resumen

En el presente trabajo se presenta una aplicación de las matemáticas de la geometría fractal a una serie de tiempo sobre la movilidad académica, la información se tomó del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Estadística de la UNESCO, concretamente se consideraron datos de países asiáticos, debido a que existe información suficiente tanto de países pobres como ricos. Hoy en día la aplicación de esta disciplina matemática, ha coadyuvado en la toma de decisiones sobre el comportamiento de fenómenos naturales y artificiales. De los resultados obtenidos en este estudio se tiene que la movilidad académica tiene un comportamiento fractal por lo que se puede modelar bajo el enfoque de sistemas complejos.

Palabras clave: análisis fractal de la movilidad académica.

La movilidad académica es un requisito para las instituciones y universidades de nivel superior establecido en la Declaración de Bolonia (Carta Magna 1988), que fortalece a los sistemas educativos, debido a que los estudiantes, docentes e investigadores pueden ubicarse en otros centros de estudio, ajenos al de su origen. En México se han realizado trabajos relacionados con la movilidad académica en la Secretaría de Educación Pública y en la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 1999), mediante la elaboración de las líneas estratégicas para fortalecer la cooperación, la movilidad estudiantil y el intercambio académico de las instituciones de educación superior afiliadas. En particular en el Instituto Politécnico Nacional (IPN), se fortaleció a través del Modelo Educativo con miras a enfrentar los retos educativos para el Siglo XXI.

En un contexto mundial, la innovación educativa exige estar a la par con la ciencia y la tecnología mediante un enfoque multidisciplinario en donde se integran y relacionan sistemas educativos, costumbres, idiomas, actitudes, aptitudes, conocimiento, competencias, valores, etc. En este sentido la movilidad académica además de ser un requisito es una estrategia para lograr los objetivos educativos para el presente siglo. La movilidad académica requiere para su implantación de una organización compleja en la que participen el gobierno, las instituciones educativas de Nivel Superior, las universidades, los alumnos, el personal docente y administrativo, los apoyos económicos, los enlaces con otras instituciones nacionales e internacionales, la homologación de los créditos académicos, etc. y además tomar en consideración que en los países pobres los recursos asignados a las instituciones y universidades públicas de nivel superior, generalmente son escasos, esto lleva a pensar que Peter Ducker¹ tenía razón, “las sociedades hoy en día se miden por su productividad del conocimiento, ya que los

¹ Drucker P. (1994). La Sociedad del Conocimiento. Ed. Norma. Bogotá.



países ricos invierten mucho en la educación de su pueblo". Podemos suponer que la puesta en marcha de la movilidad académica es un sistema complejo.

La comprensión del comportamiento de la naturaleza, siempre ha sido objeto de estudio de la ciencia, se puede decir que en la búsqueda de la descripción de los fenómenos de la naturaleza se encontró el camino hacia la física sistémica y las leyes matemáticas que rigen los sistemas complejos; un enfoque multinivel llevó al desarrollo de metodologías y herramientas de la ciencia no lineal, la mecánica estadística, la termodinámica, la teoría de la probabilidad y la simulación numérica. En los progresos realizados sobre la complejidad de los fenómenos naturales y de la vida cotidiana, se tienen nuevos cuestionamientos para plantearlos cualitativamente y cuantitativamente. La movilidad académica es un sistema complejo que debe responder a los cambios con responsabilidad, a través de un proceso evolutivo que coadyuve a la auto organización del mismo, que genere el nacimiento de estructuras coherentes para garantizar un nuevo funcionamiento o conducta hacia la zona crítica marcada por los avances del conocimiento, la ciencia y la tecnología, para pasar de un estado a otro por lo que, en adelante se considerará para este estudio como un sistema complejo, requiriendo de herramientas cuantitativas tales como las proporcionadas por la geometría fractal.

Considerando a la movilidad académica como un sistema complejo adentraremos hacia la ciencia de la complejidad en donde los fenómenos naturales o el comportamiento humano exhiben una interacción dinámica entre muchas variables independientes que conducen a un orden emergente. Esa interacción de las partes de un sistema complejo se toma para crear algo nuevo, un orden que no se explica en términos de la conducta individual de cada una de sus partes, concluyéndose que los términos de complejidad: emergencia, simplicidad, orden, desorden, son términos epistemológicos y son conceptos relativos a la descripción de la realidad.

(Casti)² quien expone que la complejidad es un concepto de sistemas y que en el lenguaje cotidiano el término complejo, por lo general, se refiere a una persona o un objeto integrado por componentes que interactúan, cuya conducta y/o estructura es difícil de entender. Una selva tropical, el cerebro humano o el comportamiento económico de una nación son ejemplos de sistemas complejos.

Hablando de complejidad en los últimos 15 años se convirtió en un importante campo de investigación interdisciplinaria que ha modificado considerablemente el panorama científico. La idea general que faltaba en nuestro conocimiento acerca de la complejidad y que le confiere su condición de destacada actualidad es la de sistemas complejos. Este es el punto de partida, un nuevo enfoque a fenómenos de la naturaleza. Entonces el nuevo paradigma de la ciencia es la ciencia de los sistemas complejos. Desde las leyes emitidas por Sir Isaac Newton, la ciencia ha estado centrada en el paradigma newtoniano. Este paradigma reinó durante tres siglos, se exploró la constitución atómica, nuclear y sub nuclear de la materia por un lado y cosmológica por el otro, con este paradigma la ciencia avanzó mucho, sin embargo algunos fenómenos como la predicción de los cambios de clima dados por el movimiento de la atmósfera, no se puede realizar con estas leyes. En este período newtoniano de la ciencia, los fenómenos se han tratado de una manera simple, bajo condiciones de reposo. Sin embargo, todos los comportamientos de la naturaleza son complejos y requieren de un estudio más profundo en las leyes de la naturaleza".

² Casti John L. Complexity Û An Introduction.



Basándose en el documento “Del Infinito a la Mano” (Anónimo), la matemática es una herramienta fundamental en nuestra vida cotidiana. Todas las disciplinas exactas naturales y técnicas han progresado en un alto porcentaje, gracias a ella, y los fractales no son la excepción han nacido para cubrir una necesidad: la de comprender los sistemas complejos o sistemas naturales que, por sus características, no pueden ser estudiados por la geometría y la matemática tradicional. A principios del Siglo XX, se estudiaron formas y expresiones matemáticas que no se comprendían con la ayuda de la geometría euclidiana y el cálculo diferencial. Fue hasta 1975 que Benoit Mandelbrot acuñó la palabra “fractal”, que proviene del latín y significa roto o quebrado para referirse a estas geometrías y expresiones, y su estudio se trata en la rama de la matemática llamada Geometría Fractal. En la actualidad no existe una definición precisa de lo que es un fractal, en términos prácticos los fractales tienen ciertas propiedades que son ideales para propósitos de modelación y ciertas características que los hacen medibles. La propiedad de los fractales es la autosimilaridad, que significa que todas sus partes están relacionadas de alguna forma con el todo, es decir que cada una de las partes del objeto tienen las características del objeto completo o bien que los detalles o partes más pequeñas tienen una relación estadística con sus propiedades globales, repitiéndose tales detalles de manera infinita, esta propiedad hace a los fractales invariantes en la escala.

Los fractales matemáticos son estrictamente regulares, pero los naturales no, por lo que no es estrictamente correcto utilizar el método de dimensión fractal para caracterizarlos. Su carácter para describirlos se define mejor en término de sus propiedades auto-afines como son el exponente de Hurst, el coeficiente de rugosidad y la longitud de correlación que es el límite superior para el que presenta el comportamiento auto-afín, ejemplos de fractales naturales son las superficies de fractura del vidrio. El exponente de Hurst H el cual tiene una gran cantidad de aplicaciones a toda serie de tiempo por su robustez tiene unos cuantos supuestos sobre el sistema que es estudiado y puede clasificar las series de tiempo y distinguir de una serie aleatoria, de una que no lo es, inclusive, si la serie no tiene distribución gaussiana. Las serie de tiempo persistentes, definidas como las que tienen: $0.5 < H < 1$, son fractales. Ya que pueden ser descritas con un movimiento browniano fraccionario. En el movimiento browniano fraccionario, hay correlación de eventos en distintas escalas de tiempo. Por esta relación, la probabilidad de que sucedan dos eventos, uno tras otro. El exponente de Hurst describe la posibilidad d que dos eventos consecutivos sucedan. Si $H=0.6$, hay (en esencia) una probabilidad más alta de que si el último número fue positivo, el que sigue sea positivo también. Esto no es en realidad una probabilidad, sino simplemente una medida de sesgo.

Cada punto no es igualmente probable (como una caminata aleatoria), la dimensión fractal de una distribución de probabilidad no es 2, sino un número entre uno y dos. Mandelbrot demostró que el universo de H es la dimensión fractal para la trayectoria de un movimiento browniano, pero para su gráfica sería 2-D. La gráfica de una caminata aleatoria, con $H=0.5$, tendría una dimensión fractal 2. Si $H=0.7$, la dimensión fractal de la trayectoria de movimiento browniano correspondiente es

$$\frac{1}{0.7} = 1.43$$

El exponente de Hurst puede ser convertido a dimensión fractal D, usando la fórmula siguiente:

$$D=2-H \therefore \text{si } 1 < D \Rightarrow D = 1.5$$



Si $1 < H < 1.5$ resultará una dimensión fractal cercana a una línea.
Esto es, una serie de tiempo persistente daría como resultado una línea suave.
Una serie anti persistente
 $0 < H < 0.5$ arrojará una dimensión fractal más puntiaguda que una caminata aleatoria.

Metodología

En la metodología utilizada en el caso de estudio se utilizaron los métodos de trazado auto-afín, los cuales son para caracterizar los fractales naturales son: análisis de rango reescalado, espectro de potencia, método variograma y método de ondoletas.

El caso de estudio los datos analizados se tomaron, del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Estadística de la UNESCO, durante el proceso de selección de la información se apreció que el índice de movilidad académica es muy alto en los países del primer mundo, por el contrario, en los países de América Latina y el Caribe el índice de estudiantes que están en proceso de movilidad académica es relativamente muy bajo. Debido a lo anterior y con el propósito de seleccionar una zona geográfica en la que se contara con información que incluyera países con alto índice de movilidad académica de estudiantes y países con menor índice, se optó por elegir países del Continente Asiático.

Dado la metodología requiere una gran cantidad de datos, se tomó información a partir de la década de los 90.

La metodología consistió en considerar una serie de datos de 2^{12} , los cuales se convirtieron en series de tiempo, se analizaron las fluctuaciones aplicando los siguientes métodos para analizar el Exponente de Hurst, ver el figura 1:

- Análisis del valor promedio del exponente de Hurst
- Análisis de Reescalado R/S
- Método de Longitud de Rugosidad
- Método del Variograma
- Método de Ondoletas

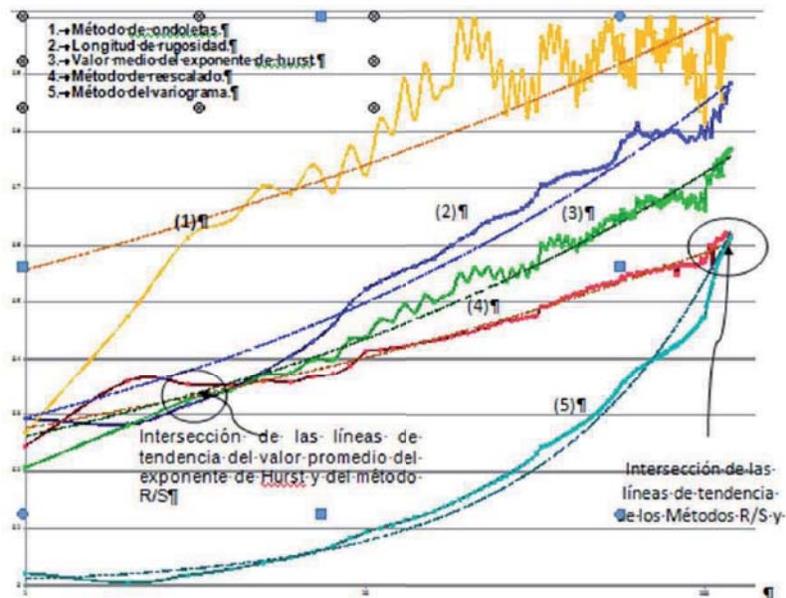


Figura 1. Comparativo gráfico del comportamiento del exponente de Hurst entre el valor promedio y los métodos de ondoletas, reescalado, longitud de rugosidad y del variograma

Conclusiones

En el análisis hecho en este caso de estudio sobre la movilidad académica se encontró que tiene un comportamiento que corresponde a un fractal natural, debido a que la serie de tiempo presenta un movimiento browniano es entonces un sistema complejo, lo que implica que el proceso para hacer operativa la movilidad académica deberá ser flexible para responder de manera coherente a los cambios con responsabilidad, evolutivo que coadyuve a la auto organización del mismo, que genere el nacimiento de estructuras coherentes para garantizar un nuevo funcionamiento o conducta hacia la zona crítica marcada por los avances del conocimiento, la ciencia y la tecnología, para pasar de un estado a otro el estudio.

Para otro estudio

Datos aleatorios de las fluctuaciones de la variable movilidad académica, recolectados del Departamento Estadística de la UNESCO. En la selección de la información se tomaron los datos sin discriminar países pobres o ricos de Asia, se encontró que el método del variograma mostró un comportamiento diferente a los otros métodos aplicados. Se considera para otro estudio posterior, que es necesario e interesante ver el comportamiento de la variable en los países ricos y compararlo con el de los países pobres a nivel mundial y por continente, para hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de la movilidad académica.

Bibliografía

- Anónimo. El Infinito al alcance de las manos. Una introducción a la geometría fractal.
- Anónimo. Series de Tiempo Fractal y las Caminatas Aleatorias Sesgadas.
- ANUIES. (1999). "Líneas Estratégicas para Fortalecer la Cooperación, la Movilidad Estudiantil y el Intercambio académico de las >Instituciones de Educación Superior Afiliadas a la ANUIES". México: ANUIES.



- Carta Magna de las Universidades Europeas. (1988). Bolonia.
- Claust, A. Cosma Rohilla Shalizi y Men J. Newman. "Power Distribution in Empirical Data". Santa Fe Institute. Comunicado de Praga. (2001). Praga.
- Conferencia de Berlín. (2005). Berlín.
- Casti, J. Complexity-An Introduction.
- Juri, H. La declaración de Bolonia desde la perspectiva latinoamericana. México.
- Intyre, L. "Complexity: A Philosophers Reflections.
- Muñoz, G. (2007). Tesis doctoral Invariancia de Escala y Formación de Patrones en la Erosión de Superficies. Madrid España. Universidad Carlos III Departamento de Matemáticas.
- Olmedo, F. (2005). De la Linealidad a la Complejidad, Hacia un Nuevo Paradigma. España. Universidad de Sevilla.
- Ortiz, M. Geometría de Fractales y Auto-afinidad en Ciencia de Matemáticas.
- Proyecto Tunning para América Latina y el Caribe.
- Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica (SNET). (2008). Documento Normativo para la Movilidad Estudiantil. México: Secretaría de Educación Pública.
- Solé R, Manrubia S. (2001). Orden y Caos en Sistemas Complejos. Cataluña España: Universidad Politécnica.