

## Desde la Prospectiva: Percolación del desarrollo a través de sistemas de redes locales



### From Prospective: Percolation of development through local network systems

Álvarez Medero, Pedro

Pedro Álvarez Medero  
yolicabrera@infomed.sld.cu  
Relaciones Internacionales Raúl Roa García, Cuba

**Política Internacional**  
Instituto Superior de Relaciones Internacionales "Raúl Roa García",  
Cuba  
ISSN: 1810-9330  
ISSN-e: 2707-7330  
Periodicidad: Trimestral  
vol. 3, núm. 1, 2021  
[politicainternacionaldigital@gmail.com](mailto:politicainternacionaldigital@gmail.com)

Recepción: 07 Septiembre 2020  
Aprobación: 25 Noviembre 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/332/3322699002/>

**Resumen:** Las ciencias de la complejidad aportan un valioso método de análisis: "la Percolación"<sup>1</sup>. A pesar de ser un vocablo y un método poco familiar, resulta uno de los fenómenos más comunes de la naturaleza. Es un concepto que está asociado a los flujos que pasan de un sistema a otro entre las redes que conforman estos sistemas, y la probabilidad del paso del fluido a través de la red, el cual se manifiesta de forma no uniforme es propio de los sistemas anisótropos

**Palabras clave:** Percolación, anisótropo, redes, sistema, probabilidad.

**Abstract:** The complexity sciences provide a valuable method of analysis "the Percolation". Whenever we think about this, besides being a word and an unfamiliar method, it is one of the most common phenomena of nature. It is a concept that is associated with the flows that pass from one system to another between the networks that make up these systems and the probability of the fluid passing through the network, which is manifested in a non-uniform way typical of anisotropic systems

**Keywords:** Percolation, anisotropic, networks, system, probability.

## INTRODUCCIÓN

La percolación es un fenómeno de la vida cotidiana: el agua en forma de vapor "percola" a través del café molido de la cafetera, se impregna del mismo y nos despierta por la mañana.

Si la concentración de café en el filtro fuese extremadamente compacta, el agua no podrá percolar pues no encontrará espacios libres entre los poros para hacerlo. En este caso la presión creciente acabará rompiendo la resistencia del tapón de café por su punto más débil y el agua escapará por el camino de ruptura así creado, sin impregnarse bien del café. Por este motivo se recomienda no aplastar demasiado el polvo de café con la cucharilla para preparar un buen expreso. Otros ejemplos los tenemos en la extracción de petróleo del subsuelo, haciéndolo percolar a través del medio rocoso/poroso bajo el que se encuentra, también está la percolación de infecciones o epidemias a través de una población: si la probabilidad de contagio es alta, la infección se abre paso" o percola en una población dada. (Covid-19)

Al hablar de la percolación del desarrollo para sistemas locales, sean nacionales o grupos de países dentro del ámbito de interés que nos proponamos trabajar, estamos identificando el desarrollo como un fluido

que está impregnado de conocimiento, además de las ideologías, intencionalidades políticas y su estructura, desarrollo científico técnico y la cultura en general. Esto nos permite establecer como objetivo deseado la sostenibilidad y prosperidad de las redes consideradas como sistemas y de las cuales debe emanar una nueva visión procesada del desarrollo local como producto final.

Esto lleva aparejado la aplicación de una serie de instrumentos que ponen en movimiento las sinergias del desarrollo a través de la red. Estos son:

- Teoría de grafo para representación y modelación de las redes

- Análisis multivariado y probabilidades para orientar el flujo del conocimiento

- Instrumentos prospectivos y fractales para delinear escenarios

- Análisis de sistemas, técnicas de comunicación y negociación

- Análisis de inteligencia para la búsqueda de información de calidad en el corto plazo.

Mapas mentales que describan el espacio que tengan en cuenta los siete ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de Cuba hasta el 2030.1. Gobierno socialista, eficaz, eficiente y de integración social 2. Transformación productiva e inserción internacional3. Infraestructura4. Potencial humano, ciencia, tecnología e innovación5. Naturaleza y medio ambiente6. Desarrollo humano, equidad y justicia social7. Coordinación de los cuadros del Estado

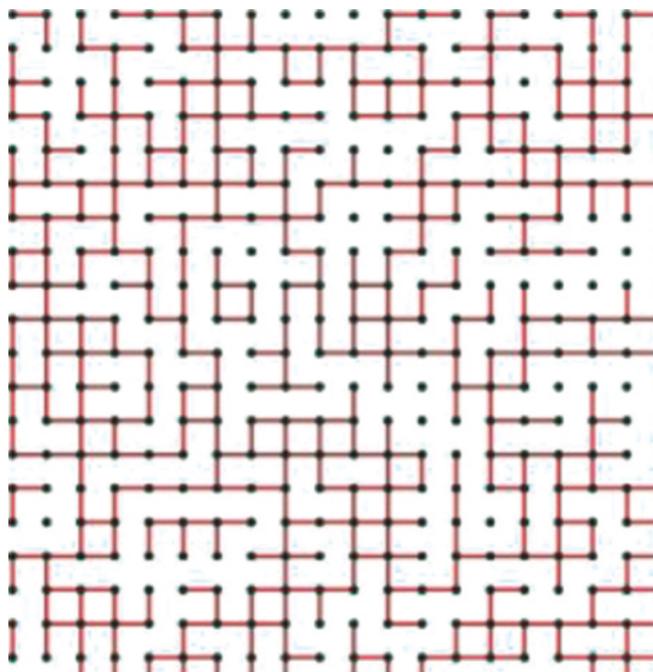
- Importar lista

- Esto es válido para el análisis dentro y fuera de frontera.

## DESARROLLO

Imagine por un momento una red a la que se le ha mutilado el 30% de las conexiones: han quedado sin comunicación (personas, localidades nacionales o internacionales).

En la gráfica que exponemos a continuación siempre podemos comunicar el sistema en general por algunas de sus partes, donde el desarrollo se movería del potencial de mayor desarrollo al de menos desarrollo, un cambio de potencial propicia el flujo, y habrá percolación.



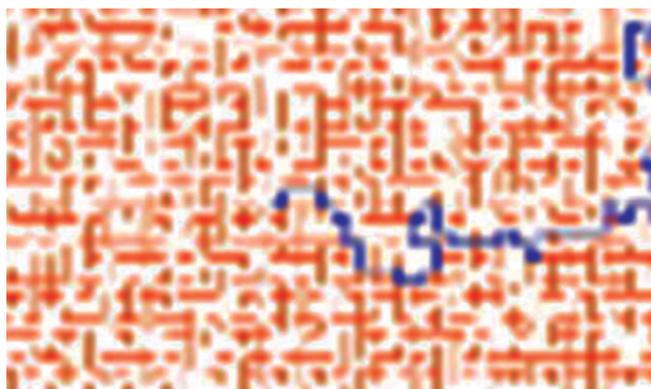
### Gráfica

El desarrollo se movería del potencial de mayor desarrollo al de menos desarrollo, un cambio de potencial propicia el flujo, y habrá percolación.

Pedro Álvarez Medero

Si mutilamos el 70% de las conexiones la percolación es imposible. Aquí veremos un camino percolante que comunica el centro de la red con la frontera.

Estas ideas son útiles pues el desarrollo se mueve de manera irregular, pero el objetivo es lograr extenderlo al mayor número de agentes posibles.



### Conexiones

Aquí veremos un camino percolante que comunica el centro de la red con la frontera

Pedro Álvarez Medero

A un nivel más formal, el concepto de percolación fue introducido por Broadbent<sup>2</sup> en 1954, quien en un simposio sobre métodos Monte Carlo hizo la siguiente pregunta: ¿cuál es la probabilidad de que exista un camino conexo (esto es, un camino “no podado” en el ejemplo anterior) desde un extremo del retículo (o desde el centro) hasta el extremo opuesto? (ver figura). Inmediatamente después el problema fue abordado por Hammersley<sup>3</sup> y el mismo Broadbent. Mientras que en el caso de un retículo unidimensional la solución

al problema es trivial, en dos y más dimensiones el problema se hace muy complejo desde el punto de vista analítico, y los estudios numéricos/computacionales son esenciales.

La importancia de la transición de percolación radica en que está íntimamente relacionada con conceptos fundamentales como fractales e invariancia de escala, y constituye un adecuado banco de pruebas para estudiar técnicas analíticas o numéricas que después serán utilizadas en la investigación de otros cambios de fase más complejos. Por ejemplo, el grupo de renormalización se puede entender partiendo desde modelos percolativos, y los conceptos de tamaño finito, escalado, dimensión fractal, etc., aparecen de manera natural en percolación, como indica la práctica.

Una vez identificada la red de localidades, el grafo asociado deberá cumplir determinadas condiciones, es decir, cuan sensible es una localidad (nodo) a ser influenciado por los nodos vecinos en lo que respecta al desarrollo. Para esto es fundamental definir las variables que caracterizan cada entidad y diseñar una base de datos que recoja aspectos económicos, políticos, sociales, científico-técnicos, etc., que permita, mediante el análisis de clúster, tener las conexiones probables entre los nodos. Debemos suponer que un alto grado de similitud propicie un mejor acercamiento y por ende dichas localidades serán percolantes. Identificar estas “clases de equivalencia” nos da la posibilidad de definir estrategias contaminantes y reforzar aquellas variables más deprimidas dentro de cada clúster.

El patrón de comparabilidad será, por supuesto, aquel grupo de nodos que muestren valores más exitosos; esto como un todo, sin embargo, existen fronteras difusas entre las agrupaciones. Mediante las técnicas del análisis multivariado al disminuir el número de clúster algunos nodos pasarán a reagruparse hacia el grupo patrón; es aquí cuando las técnicas de comunicación-negociación desempeñan un papel fundamental, pues son ellas las que pueden compulsionar el arrastre del desarrollo. Todo esto necesita de la voluntad inversionista, el desarrollo de carteras de negocio y la creación de infraestructuras adecuadas que propicien el fortalecimiento de la conectividad de los nodos. La visión del corto plazo al largo plazo podrá ser modelada mediante técnicas prospectivas, a partir del análisis de inteligencia que garantizan la información de calidad necesaria.

Tener en cuenta este clúster a tractor conformado por nodos o localidades percolantes, indiscutiblemente propicia y cataliza las acciones de desarrollo en el resto de los nodos del sistema. Este proceso de naturaleza endógena, en el caso nacional se sustenta en dos dimensiones estratégicas fundamentales, las cuales señalamos anteriormente<sup>4</sup>. Al realizar un estudio fractal a los diez objetivos estratégicos fundamentales del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de Cuba hasta el 2030, emergió lo siguiente:

1. 12. Fortalecer el marco institucional en todas sus dimensiones y el respeto a la Constitución de la República (OBGR12)
2. 14. Fomentar la inserción internacional de Cuba en los procesos económicos mundiales y regionales (OBGR14)
3. 21. Lograr un alto y sostenido crecimiento de la economía (OBGR21)
4. 22. Fomentar una estructura productiva diversificada, eficaz, (y) eficiente (OBGR22)
5. 24. Lograr una mayor integración entre los actores económicos del país (OBGR24)
6. 31. Maximizar la contribución de la infraestructura al proceso de desarrollo. (OBGR31)
7. 41. Asegurar la atención, protección, motivación y estabilidad del personal de más alta calificación (OBGR41)
8. 42. Elevar el impacto de la ciencia, la tecnología y la innovación en el desarrollo económico y social (OBGR42)
9. 52. Elevar la calidad ambiental (OBGR52)
10. 64 Reducir progresivamente la desigualdad económica (OBGR64)

Importar lista

La coordinación de los cuadros del Estado sigue siendo el talón de Aquiles cuando enfrentamos la percolación del desarrollo, pues estos actores son los encargados de garantizar la compatibilidad de sistema

visto multidireccionalmente. Las instancias locales (“nodos”) están conectados entre sí, en mayor o menor medida siempre con una tendencia al desarrollo y evolucionan sus experticias según su naturaleza productiva y cultural, pero con una mirada hacia los nodos vecinos que les sirven de complementariedad.

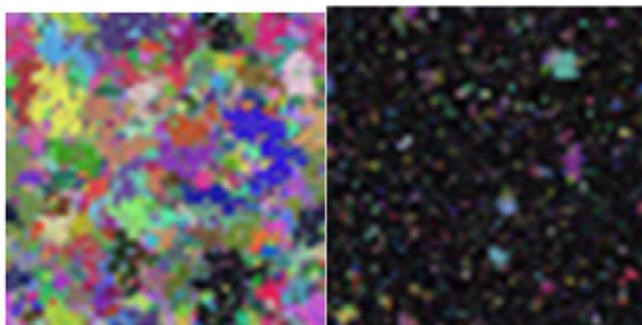
Sería conveniente ofrecer un ejemplo que ilustre la idea de percolación, al menos en uno de los tres modelos más usados, aunque nosotros ahora esbozamos una metodología muy particular. Para modelar de forma económica la fenomenología anteriormente descrita se suelen considerar:

Modelos sencillos de percolación por nodos (o sitios) y percolación por enlaces.

Percolación por nodos (o sitios): sea un conjunto de  $N$  puntos formando un retículo. Por simplicidad consideraremos normalmente redes cuadradas, pero el modelo es extensible a redes arbitrarias. Cada nodo puede estar en uno de dos estados: ocupado o vicio. Un nodo ocupado se considera conectado con sus vecinos próximos en la red siempre y cuando estos estén ocupados también.

Si todos y cada uno de los nodos de la red estén ocupados, se podrá encontrar, obviamente, un camino que los conecte siguiendo los enlaces. Esta propiedad se mantiene si se elimina al azar una fracción relativamente pequeña de nodos.

Sin embargo, supongamos que en un cierto momento hay una proporción  $q = 1 - p$  (donde  $p$  es la probabilidad de que cada nodo esté ocupado) relativamente alta de nodos, con posiciones aleatoriamente distribuidas, que han sido eliminados de la red. Es obvio que si  $p = 0$  o  $p$  es muy pequeño, es imposible encontrar un camino que percole a través del sistema.



El caso expuesto anteriormente ilustra el aspecto de redes no percolantes (izquierda) y percolantes (derecha) para percolación por sitios. Nótese como en el caso no percolante aparecen multitud de agrupaciones de sitios conectados (cada una de un color diferente), mientras que en el caso percolante hay una agrupación (representada en color negro) que se expande por todo el sistema.

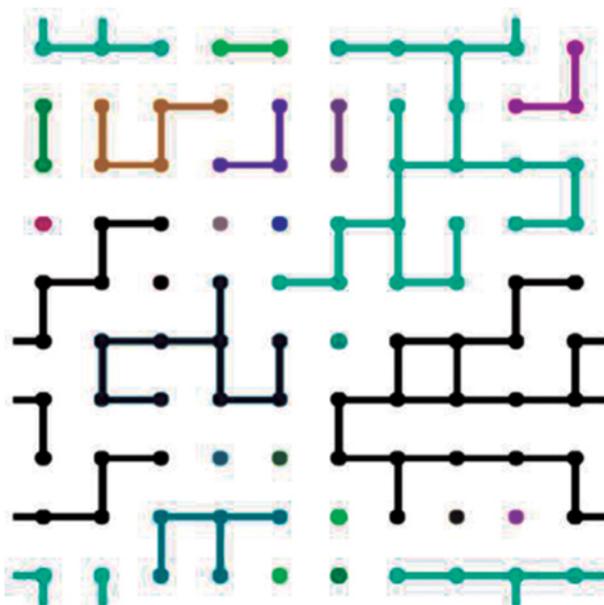
De hecho, se puede demostrar analíticamente que, para una red de tamaño infinito, existe un valor crítico de  $p$  que llamaremos umbral de percolación,  $p_c$ , de forma que si  $p > p_c$  existe al menos un camino de nodos interconectados que se extiende por toda la red. Por el contrario, si  $p < p_c$  tendremos agrupaciones de nodos interconectados, pero que no se logra la propagación.

Un aspecto importante es que  $p_c$ , si se determina haciendo experimentos en redes finitas (como es necesariamente el caso en cualquier estudio computacional), depende del tamaño de la red que se considere, puesto que, obviamente, cuanto mayor sea la red, mayor es el valor de  $p$  necesario para generar caminos percolantes, que son más largos cuanto mayor sea la red. Dicho de otra manera, un valor  $p < p_c$  que genere caminos muy largos, pero no infinitos, puede parecer que esté en la fase percolante si el tamaño de red que consideramos es pequeño porque los caminos no infinitos abarcan toda la extensión del tamaño considerado y son, por tanto, indistinguibles de caminos percolantes. Esto es lo que se denomina “efectos de tamaño finito”; efectos similares aparecen en las cercanías de todos los puntos críticos. Sin embargo, se puede demostrar que cuando  $L$  tiende a infinito, el valor aparente de  $p_c$  tiende a un valor bien definido que constituye el punto crítico en tamaño infinito.

Lo que hace interesante a este modelo es comprender lo que ocurre alrededor de  $p_c$  y en  $p_c$ . En particular, para  $p = p_c$  la estructura geométrica del agrupamiento de nodos interconectados más grande tiene estructura

fractal. Esta propiedad, así como muchas otras, es debida a que  $p = p_c$  es un punto crítico y el sistema tiene un cambio de fase: de fase percolante (o supercrítica) para  $p > p_c$  a fase no percolante (o subcrítica) para  $p < p_c$ .

Percolación por enlaces: En este caso, todos los sitios están presentes, pero solo hay enlaces entre ellos con probabilidad  $p$  (parte superior derecha de la figura I; al igual que en el caso anterior, se representan con colores diferentes los distintos caminos conectados; no hay ninguno que atraviese el sistema de parte a parte).



Percolación dinámica: (modelos de incendios forestales”

El ejemplo que expondremos a continuación surge de la idea que lo más parecido a la propagación del desarrollo es un incendio forestal y la idea surge de un pensamiento martiano:

Los pueblos, una vez lanzados, no se detienen. El fuego una vez encendido, arde. Por eso no ha de emprenderse una contienda política sin tener condición dispuesta a todas sus direcciones posibles. No ha de encenderse el fuego que no pueda apagarse. Lo demás es imprevisión culpable (Martí, 2011).

Los dos modelos introducidos anteriormente (percolación por sitios y percolación por enlaces) son estáticos. Las agrupaciones que generan pueden ser identidades de una forma “dinámica”, utilizando el llamado “modelo de incendios forestales”.

Pensemos en un bosque como una red cuadrada en la que cada celda está ocupada por un árbol con probabilidad  $p$ , o vacía con probabilidad  $1 - p$ . Esta distribución de árboles y huecos sería el estado inicial. La caída de un rayo o de una colilla prende fuego en un árbol al azar y, acto seguido, el fuego se extiende propagándose a todos los árboles adyacentes a los que estén ardiendo. Si el fuego puede saltar de un árbol a otro con una cierta probabilidad que depende de la distancia, un problema real muy importante en el diseño de estrategias de preservación forestal y en el de plantaciones de árboles, es el determinar la distancia a la que deben plantarse los árboles para que su densidad sea la mayor posible y, al mismo tiempo, en caso de incendio no arda todo el bosque sino una fracción lo menor posible. La respuesta a esta pregunta (al menos bajo ciertas condiciones) es plantar árboles justo por debajo del umbral de percolación, muy cerca del punto crítico.

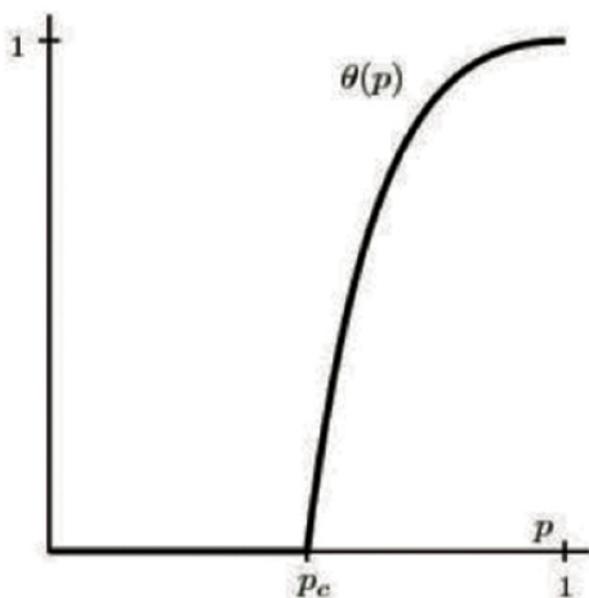


FIGURA 4

Diagrama que muestra la densidad de sitios en el agregado percolante como función del parámetro de control  $p$ : para  $p < p_c$  dicha probabilidad es cero (fase no percolante), mientras que para  $p > p_c$  la densidad crece monótonamente con  $p$ .

En el punto crítico de percolación emerge un fractal justo en el punto crítico se puede demostrar que la agrupación percolante es un fractal. Un fractal es un objeto geométrico cuya “masa”, en nuestro caso el número de nodos (árboles) crece al aumentar el tamaño lineal del sistema exponencialmente. La dimensión fractal podemos describirla del siguiente modo utilizando como ejemplo el cálculo realizado a los 10 objetivos reconceptualizados del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de Cuba hasta el 2030.

$D = \log(N)/\log(n)$ ; (Publicado por Felix Hausdorff (1868-1942) en 1919) Para  $N=10^{**6}$  y  $n=6$ , sustituyendo  $D$  es aproximadamente 7,71, excede a la dimensión topológica dada por el número de ejes estratégicos igual a seis, además se explica y se justifica que las interacciones estimables desbordan cualquier análisis mecanicista.

## CONCLUSIONES

El problema del desarrollo está muy comprometido con aspectos económicos, políticos, sociales y tecnológicos, atendiendo que todo esto se mueve en un entorno medio ambiental no desestimable como variable, como hemos podido apreciar en época de la pandemia de la COVID-19. Hacer estudios que promuevan el desarrollo a otros territorios que considero es la misión fundamental donde se pone de manifiesto una globalización de naturaleza solidaria. Los ritmos de percolación no son uniformes ni totales, pero es una tarea imprescindible para lograr un ambiente próspero y sostenible.

Trabajar con métodos adecuados nos permite identificar los problemas y transformar los contextos sociales lo que es fundamentalmente el interés y objetivo de este trabajo. Los métodos son indispensables como ya he subrayado en otros artículos:

“...el método es alma y forma y concepto del contenido”, según lo expresado por V. I. Lenin Cuadernos Filosóficos.

La unión de todas estas disciplinas marca el camino de un enfoque más robusto para delinear los futuros escenarios.

La Percolación del Desarrollo debe de cumplir los siguientes objetivos para la nación cubana:

1. Considerar el enfoque prospectivo desde el inicio al abordar los ejes estratégicos definidos en el VII Congreso del Partido, así como en la elaboración del plan nacional de desarrollo que implica un proceso de trabajo que interrelaciona metodológica y secuencialmente el conjunto de componentes descritos en el documento rector.

2. Agregar el Análisis Estructurado para el Análisis de Inteligencia como parte complementaria del diagnóstico con los métodos adecuados descritos en el programa de los cursos de “Prospectiva e introducción al AI” que involucre de forma activa a todos los actores jurídicos y naturales.

3. Fomentar la visión de futuro como proceso constructivo y natural con el enfoque prospectivo como práctica revolucionaria, ajustado a los diferentes niveles de educación del país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, P. (2018). Jerarquizaciones de los objetivos generales y específicos contemplados en el documento Plan Nacional De Desarrollo Económico Y Social Hasta El 2030.
- Engels, F. y Block, J. (1890, septiembre 21-22). Obras escogidas. (T. 3). Königsberg, Londres.
- Gil, Julio. (2008). Dimensión Fractal, Entropía, y Belleza en Árboles Vasculares de Mamíferos. Madrid: Universidad Complutense de Facultad De Ciencias Biológicas. ISBN: 978-84-692-0082-7
- Godet, M. (1994). De la anticipación a la acción. Barcelona: Editorial Marcombo.
- Godet, M. (2011). La prospectiva estratégica, para las empresas y los territorios. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Hinrichsen ,D. et al. (1977). Topología general. Editorial Pueblo y Educación. ISBN 84-314-0301-2,1977. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation_theory) <https://www.ibiblio.org/e-notes/Perc/contents.htm>
- Martí, J. (2011). Cuadernos de apuntes. Obras completas, vol. 21. (p. 165). Centro de Estudios Martianos. Editorial de Ciencias Sociales.
- Richards, J. y Randolph, H. (2015) Structured Analytic Techniques for Intelligence Analysis. (La publicación de esta edición en español cuenta con el permiso bajo licencia del titular y propietario de los derechos).

## NOTAS

- 1 Proceso del paso irregular de un fluido a través de una masa o sistema conformado por una red de nodos distribuidos aleatoriamente. La anisotropía es la propiedad general de la materia según la cual cualidades como elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc., varían según la dirección en que son examinadas. Algo anisótropo podrá presentar diferentes características según la dirección.
- 2 Donald Eric Broadbent FRS fue un psicólogo experimental influyente del Reino Unido. Su carrera en investigación cerraron la brecha entre el enfoque anterior a la Segunda Guerra Mundial de Sir Frederic Bartlett y lo que se conoció como Psicología cognitiva a finales de los años sesenta.
- 3 John Michael Hammersley (1920-2004) fue un matemático británico, conocido por su trabajo fundamental en la teoría de las caminatas y de la percolación.
- 4 6. Desarrollo humano, equidad y justicia social  
7. Coordinación de los cuadros del estado