

¿Son las pandemias fenómenos fractales?

 theconversation.com/son-las-pandemias-fenomenos-fractales-140373

Gabriel del Barrio
Escribano

Ahora que los sucesos más dramáticos de la COVID-19 parece que empiezan a quedar en la estela, podemos hacer un experimento mental para observar el proceso desde una perspectiva externa al mundo sanitario. Supongamos que nos dan una foto fija de una pandemia global. Una foto simple, consistente en puntos negros que representen localizaciones infectadas sobre un fondo blanco. ¿Podríamos saber el dominio en que fue tomada? Es decir, ¿si corresponde a un barrio, aldea, ciudad, país o al planeta entero?

Llamemos “escalas espaciales” a esos tamaños de dominio. Si la pandemia tiene el mismo aspecto a cualquiera de esas escalas, se trata de un fenómeno fractal frente al que hay que luchar con la misma intensidad y medios a cualquier escala. Si no lo tiene, puede que haya intervalos en los que la pandemia tenga sus propios atributos. Lo lógico sería adaptar los medios de lucha a esos intervalos. Es decir, las medidas de contención tomadas a escala de barrio quizá no tengan que ser las mismas que las tomadas a escala de ciudad o de país.

Eso, suponiendo que el sistema aldea – mundo tenga estacionaridad. Es decir, que todas sus partes tengan las mismas propiedades estadísticas a efectos de la pandemia. De no ser así, si por ejemplo la evolución de la pandemia es distinta en las zonas rurales que en las urbanas, o depende del clima, nivel socioeconómico o cualquier otro factor regionalizable, necesitaríamos estratificar la búsqueda de intervalos de escala según un mapa de zonas que reflejasen esa estacionaridad.

Ahora supongamos que obtenemos una serie temporal de fotos fijas, similares a la anterior, de un territorio conocido. Esas fotos muestran el desarrollo de la pandemia en ese territorio particular. ¿Es constante su estructura básica (independientemente de la cantidad de localizaciones infectadas) a lo largo de todo el proceso?

Análogamente al caso espacial anterior, puede suceder que la pandemia, una vez iniciada en un sitio, se desarrolle con una estructura constante en la que simplemente cambia su intensidad o densidad. En ese caso, de nuevo, lo lógico sería luchar contra ella usando todas las medidas (derivadas del análisis espacial anterior, si es necesario) disponibles a lo largo de todo el período que dure la enfermedad. Pero si sus propiedades cambian según evoluciona, sería pertinente determinar intervalos de escala temporal que, tal vez, requieran medidas específicas para cada uno de ellos.

Hemos examinado el tiempo y el espacio por separado. Ahora podemos rizar el rizo y preguntarnos si no convendría combinarlos. Es decir, dada una zona con estacionaridad bajo la pandemia, ¿atravesará cada localización espacial las mismas etapas de desarrollo a medida que se desarrolle la pandemia en ella? Si es así, estamos de suerte, porque el

sistema es ergódico. En otras palabras, con solo tomar una foto fija de tal sistema, es probable que todas las fases de desarrollo temporal estén representadas en ella. Es más, es probable que la frecuencia de las distintas fases en la foto sea proporcional a su duración y por ello nos informen de la asincronía del proceso.

Si no es así, el sistema se vuelve más complicado. Al menos sabremos de antemano que nos enfrentamos a una gran incertidumbre en la que no caben simplificaciones.

Sigamos preguntándonos cosas sobre estas fotos fijas. Si tenemos dos, con la misma cantidad de localizaciones infectadas pero tomadas antes y después del momento de máxima infección, ¿sabríamos decir cual corresponde a la fase ascendente y cual a la descendente? Si pudiéramos, nuestra capacidad de diagnóstico aumentaría mucho, y una consecuencia inmediata sería gran economía en el muestreo de la pandemia. Eso es porque el proceso tendría histéresis, que significa que el camino de ida no suele ser igual al camino de vuelta. Si no, al menos sabríamos que tenemos que dedicar esfuerzos adicionales al seguimiento de la enfermedad.

El problema básico es que, inconscientemente o por nuestra necesidad de simplificar el mundo para comprenderlo, solemos asumir que los procesos espacio-temporales (quizá una pandemia entre ellos) son fractales en el tiempo y en el espacio, que el dominio de aplicación tiene estacionaridad y que el sistema es ergódico. Peor aún, damos por sentado que las oscilaciones son pendulares y sin histéresis. Esas simplificaciones acarrearán incertidumbres no acotadas que pueden reducir la eficiencia de las medidas de contención.

¿Son las pandemias sistemas brownianos?

Lo que hemos llamado “aspecto” por conveniencia se refiere a una propiedad medible del sistema. Al decir “medible”, obtenemos el valor de dicha propiedad en una dimensión espacio-temporal. En el caso de una pandemia, la propiedad puede ser la cantidad de localizaciones infectadas (pero hay otras propiedades interesantes, como los descriptores de la estructura espacial de la nube de puntos), y la dimensión podrían ser las dos dimensiones de una superficie plana. Por tanto, podemos definir la densidad de localizaciones infectadas como la cantidad encontrada por unidad de superficie.

En un objeto fractal, la medida final obtenida no depende de la unidad aplicada. Podríamos extraer la densidad de la pandemia superponiendo a nuestra foto una cuadrícula de, digamos, 100 m de lado, y contar el número de celdas ocupadas por localizaciones infectadas. También podríamos usar cuadrículas de 250, 500, 1000 o 10 000 m de lado. La intuición más elemental nos dice que, una vez aplicado el factor de escala correspondiente, el conteo realizado a cualquiera de esas escalas nos debería dar siempre el mismo valor de densidad de la pandemia.

Si fuera así, diríamos que la epidemia es un sistema Browniano autoafín, cuya dimensión fractal es proporcional al factor de escala mencionado.

Pero asumir que el sistema es así tiene implicaciones peligrosas y antieconómicas. Por eso, lo más prudente sería explorar experimentalmente las propiedades fractales de la pandemia. Para ello, bastaría obtener unos pares de valores, formados por la resolución de cuadrícula y el número asociado de celdas infectadas. La pendiente de una recta ajustada a esos pares informaría de la tasa de variación de la medida buscada en función de la unidad aplicada, y sería, por definición, el factor de escala o dimensión fractal de la pandemia. (En realidad, esa pendiente debe interpretarse como el exponente de una función exponencial que describe dicha variación, pero no es necesario entrar aquí en esos pormenores).

La ventaja de haber usado métodos estadísticos para ese experimento es que también obtenemos indicadores de la fiabilidad del ajuste. Es decir, sabemos si nos lo podemos creer y, en su caso, los márgenes de variación de la dimensión fractal resultante.

Más aún, esta técnica tan sencilla nos da herramientas muy poderosas. No solo podemos determinar la dimensión fractal correspondiente a todo el rango de resoluciones, sino que podemos buscar intervalos dentro de ese rango que difieran significativamente en su dimensión fractal.

Esos intervalos son, directamente, las regiones de escala mencionadas anteriormente, con las implicaciones apuntadas para la gestión de medidas de contención. Al haber sido determinadas experimentalmente, son más fiables que las regiones intuitivas propuestas al principio (aldea, ciudad, etc.). Y no olvidemos que hemos usado un espacio bidimensional para definir inicialmente el problema, pero la misma aproximación podría aplicarse a la dimensión temporal.

Hay más. La dimensión fractal del sistema, que significa que conocemos la variación de sus propiedades relevantes en un rango de escalas dimensionales (de tiempo o espacio), nos puede ayudar a construir modelos de simulación. Podríamos diseñar una pandemia numérica creando una cuadrícula y dotando a sus celdas de un proceso de infección basado en los conocimientos actuales de la enfermedad: número reproductivo R_0 , proximidad de contagios, etc. Desde luego, las reglas de ese juego deberían cumplir ciertas condiciones de modo que los patrones de infección resultantes se parecieran estadísticamente a los patrones observados en el mundo real.

Un modelo así, llamado de autómatas celulares, reproduciría mediante mapas sucesivos la evolución de la pandemia, y podría usarse para simular efectos de medidas de contención, para reconstruir fases pasadas del proceso, o para anticipar escenarios futuros.

Una simulación no predictiva

No nos llamemos a engaño. No hablamos de un modelo predictivo, si es que algún modelo realmente puede serlo. Se trata de un modelo de simulación, en cuyo funcionamiento hay una componente de azar (sería mejor decir estocástica) y una

componente de necesidad (o determinista). Jamás va a servir para algo tan sencillo como post-decir cómo hemos llegado hasta aquí desde el pasado observado, ni, desde luego, para predecir el futuro.

Es más, desde la perspectiva del modelo, cada resultado solo es una entre infinitas realizaciones posibles partiendo de una configuración inicial. Lo que importa no son los detalles de cada resultado, sino sus agrupaciones en escenarios y la probabilidad de que ocurran.

Pero nosotros no buscamos una bola de cristal. Si especificamos unas reglas del juego (algunas, estocásticas, como la probabilidad de contagio), y unas condiciones de partida, podemos ejecutar el modelo cientos o miles de veces. Cada vez se producirá un escenario resultante, y comparando todos los escenarios podemos concluir en qué se parecen y con qué probabilidad pueden ocurrir. Esa probabilidad acotada de ciertos sucesos es mucho más valiosa que la certidumbre indefinida que resultaría de una única ejecución de un modelo mecanístico, pseudo-predictivo y, en definitiva, frankensteiniano (no nos confundamos; este tipo de modelos son muy útiles para otros fines, como ensamblar hipótesis).

En la ciencia, como en otros ámbitos del conocimiento, una incertidumbre acotada suele ser más valiosa que una certeza asumida.