**El espacio del producto condiciona el desarrollo de las naciones**

Las economías crecen mejorando los productos que producen y exportan. La tecnología, el capital, las instituciones y las habilidades necesarias para fabricar productos más nuevos se adaptan más fácilmente a partir de algunos productos que de otros. Aquí, estudiamos esta red de relación entre productos, o "espacio de productos", encontrando que los productos más sofisticados están ubicados en un núcleo densamente conectado, mientras que los productos menos sofisticados ocupan una periferia menos conectada.

Empíricamente, los países se mueven a través del espacio de productos desarrollando bienes cercanos a los que producen actualmente. La mayoría de los países pueden llegar al centro solo atravesando distancias empíricamente poco frecuentes, lo que puede ayudar a explicar por qué los países pobres tienen problemas para desarrollar exportaciones más competitivas y no logran converger a los niveles de ingreso de los países ricos.

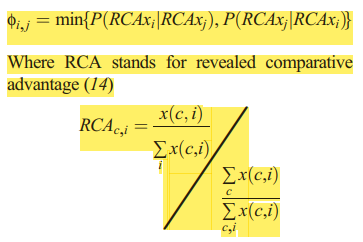
¿Importa el tipo de producto que un país exporta para el desempeño económico posterior? Los padres de la economía del desarrollo sostuvieron que sí, sugiriendo que la industrialización genera beneficios indirectos que impulsan el crecimiento subsiguiente (1–3). Sin embargo, al carecer de modelos formales, la teoría económica dominante no ha podido incorporar estas ideas. En cambio, se han utilizado dos enfoques para explicar el patrón de especialización de un país. El primero se enfoca en la proporción relativa entre los factores productivos (es decir, capital físico, mano de obra, tierra, habilidades o capital humano, infraestructura e instituciones) (4). Por lo tanto, los países pobres se especializan en bienes intensivos en mano de obra no calificada y tierra, mientras que los países más ricos se especializan en bienes que requieren infraestructura, instituciones y capital humano y físico. El segundo enfoque enfatiza las diferencias tecnológicas (5) y debe complementarse con una teoría de lo que subyace en ellas.

Los modelos de escaleras de variedades y calidad (6, 7) asumen que siempre hay un producto un poco más avanzado, o simplemente uno diferente, al que los países pueden moverse, sin tener en cuenta las similitudes del producto cuando se piensa en la transformación estructural y el crecimiento. Piense en un producto como un árbol y el conjunto de todos los productos como un bosque. Un país está compuesto por una colección de empresas, es decir, de monos que viven en diferentes árboles y explotan esos productos. El proceso de crecimiento implica pasar de una parte más pobre del bosque, donde los árboles tienen poca fruta, a mejores partes del bosque. Esto implica que los monos tendrían que saltar distancias, es decir, redistribuir el capital (humano, físico e institucional) hacia bienes que son diferentes de los que se encuentran actualmente en producción. La teoría tradicional del crecimiento asume que siempre hay un árbol al alcance de la mano; por lo tanto, la estructura de este bosque no es importante. Sin embargo, si este bosque es heterogéneo, con algunas áreas densas y otras más desiertas, y si los monos pueden saltar solo distancias limitadas, es posible que los monos no puedan moverse a través del bosque. Si este es el caso, la estructura de este espacio y la orientación de un país dentro de él se vuelven de gran importancia para el desarrollo de los países.

En teoría, muchos factores posibles pueden causar parentesco entre productos, es decir, cercanía entre árboles; tales como la intensidad del trabajo, la tierra y el capital (8), el nivel de sofisticación tecnológica (9, 10), las entradas o salidas involucradas en la cadena de valor de un producto (por ejemplo, algodón, hilo, tela y prendas de vestir) (11), o las instituciones necesarias (12, 13). Todas estas son nociones a priori de qué dimensión de similitud son más importantes y asumen que los factores de producción, la sofisticación tecnológica o la calidad institucional exhiben poca especificidad.

En su lugar, adoptamos un enfoque agnóstico y usamos una medida basada en resultados, basada en la idea de que, si dos bienes están relacionados porque requieren instituciones, infraestructura, factores físicos, tecnología o alguna combinación similar, tenderán a ser producidos en tándem, mientras que es menos probable que los bienes diferentes se produzcan juntos. Llamamos a esta medida “proximidad”, que formaliza la idea intuitiva de que la capacidad de un país para producir un producto depende de su capacidad para producir otros productos. Por ejemplo, un país con capacidad para exportar manzanas probablemente tendrá la mayoría de las condiciones adecuadas para exportar peras. Ciertamente tendrían el suelo, el clima, las tecnologías de empaque y los camiones frigoríficos. Además, contarían con agrónomos calificados, leyes fitosanitarias y acuerdos comerciales que podrían reasignarse fácilmente al negocio de las peras. Si en cambio consideramos un producto diferente como los cables de cobre o la fabricación de electrodomésticos, todas o la mayoría de las capacidades desarrolladas para el negocio de la manzana se vuelven inútiles. Introducimos la proximidad como el concepto que captura esta noción intuitiva.

**El concepto de Proximidad**. Formalmente, la proximidad ɸ entre los productos i y j es el mínimo de las probabilidades condicionales por pares de que un país exporte un bien dado que exporta otro. Nuestra medida de similitud entre los productos i y j se basa en la probabilidad condicional de tener Ventaja Comparativa Revelada, que mide si un país es un exportador efectivo (RCA>1) de un determinado bien i o no (RCA<1), dado que el país tiene ventaja comparativa en el bien j en el momento t, y viceversa. Tomamos el mínimo de las probabilidades condicionales por pares para tener una medida estricta y simétrica.



Donde RCA significa ventaja comparativa revelada (14) que mide si un país c exporta más del bien i, como porcentaje de sus exportaciones totales, que el país “promedio” (RCA > 1 no RCA < 1).

Utilizamos datos de comercio internacional, limpiados y compatibilizados (15) a través de un proyecto de la Oficina Nacional de Investigación Económica (NBER) liderado por R. Feenstra (16), desagregados de acuerdo con el Código de Comercio Internacional Estandarizado al nivel de cuatro dígitos (SITC- 4), proporcionando para cada país el valor exportado a todos los demás países para 775 clases de productos. Con estos datos, calculamos la matriz de 775 por 775 de proximidades reveladas entre cada par de productos utilizando la ecuación anterior.

Se muestra una versión agrupada jerárquicamente de la matriz (Fig. 1A). Un espacio de producto suave y homogéneo implicaría valores uniformes (coloración homogénea), mientras que un modelo de escalera de producto (7) sugeriría una matriz con valores altos (o coloración brillante) solo a lo largo de la diagonal. En cambio, el espacio de productos de la Fig. 1A parece ser modular (17, 18), con algunos bienes altamente conectados y otros desconectados. Además, en su conjunto, el espacio del producto es disperso, con ɸij distribuidos según una distribución amplia (fig. S2) con el 5 % de sus elementos iguales a cero, el 32 % de ellos menores que 0,1 y el 65 % de las entradas tomando valores por debajo de 0,2. Este número sustancial de conexiones insignificantes exige una representación de red (19), lo que nos permite explorar la estructura del espacio del producto junto con la proximidad entre productos de clasificaciones dadas y la participación en el comercio mundial. Para ofrecer una visualización en la que se incluyen los 775 productos, llegamos a todos los nodos calculando el árbol de expansión máximo, que incluye los 774 enlaces que maximizan la proximidad añadida del árbol (fig. S4) y superponemos todos los enlaces con una proximidad superior a 0,55 (figs. S5 y S6). Este conjunto de 1525 enlaces se utiliza para visualizar la estructura de la matriz de proximidad completa, que está lejos de ser homogénea y parece tener una estructura de centro-periferia (Fig. 1B). El núcleo está formado por productos metálicos, maquinaria y productos químicos, mientras que la periferia está formada por el resto de las clases de productos. Los productos de la parte alta de la periferia pertenecen a la agricultura pesquera, tropical y cerealera. A la izquierda hay un fuerte conglomerado periférico formado por prendas de vestir y otro perteneciente a textiles, seguido por la ganadería. La parte inferior de la red muestra un gran grupo de productos electrónicos, seguido a la derecha por productos mineros, forestales y de papel.

**Árbol de expansión máximo (MST).** Para incluir todos los productos en nuestra red generamos un "esqueleto" para ello: el Árbol de expansión máximo (MST). Esto no es más que el árbol que contiene la suma de pesos que es máxima. En otras palabras, es el conjunto de N-1 enlaces (siendo N el número de nodos) que conectan todos los nodos de la red y maximiza la suma de las proximidades en ella. Generamos el MST considerando el valor no diagonal más fuerte de la matriz de proximidad y luego consideramos el enlace más fuerte conectado a esa díada. Luego seleccionamos el enlace más fuerte que conecta un nuevo nodo a nuestra tríada y continuamos agregando enlaces hasta que se consideraron todos los nodos en la red (Figura S4).

También queríamos considerar los enlaces más fuertes que no están necesariamente en el MST. Hicimos esto considerando el MST más todos los enlaces por encima de cierto umbral. Se obtuvo una visualización adecuada manteniendo todos los enlaces con un valor de proximidad de 0,55 o mayor (Fig. S5). Esto resultó en una red con 775 nodos y 1525 enlaces. Los valores de proximidad más bajos dieron lugar a representaciones de redes abarrotadas, mientras que los valores más altos dieron como resultado redes escasas. Como regla general, se puede lograr una buena visualización de la red con un grado promedio igual a 4. Esto es cuando el número de enlaces es el doble que el de los nodos, que es el caso del umbral de 0,55.

**Diseño de la red**. Una buena visualización de la red requiere un diseño adecuado. Es por eso que diseñamos la red utilizando un algoritmo spring. Aquí los nodos se representan como partículas igualmente cargadas y se supone que los enlaces son resortes (springs). El diseño está determinado por las posiciones relajadas.

Una ventaja de usar una representación de red es que podemos mirar simultáneamente la estructura del espacio y otras covariables. En nuestro caso, pintamos la red utilizando las clasificaciones de productos realizadas por Leamer[1] e hicimos que el tamaño de los nodos fuera proporcional al dinero movido por esa industria en particular o World Trade. Para dar una idea de la proximidad de los enlaces involucrados en nuestra representación de red, los codificamos por colores usando rojo oscuro y azul para enlaces fuertes; y amarillo y azul claro para los más débiles.