**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.

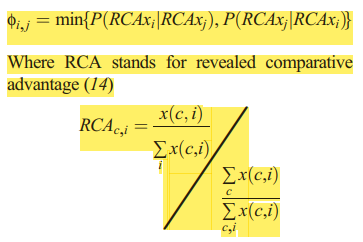
¿Importa el tipo de producto que un país exporta para el desempeño económico posterior? Los padres de la economía del desarrollo sostuvieron que sí, sugiriendo que la industrialización genera beneficios indirectos que impulsan el crecimiento subsiguiente (1–3). Sin embargo, al carecer de modelos formales, 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 diseñTo 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.

La red muestra grupos de productos algo relacionados con la clasificación introducida por Leamer (8), que se basa en las intensidades relativas de los factores (tabla S1 y fig. S8), es decir, la cantidad relativa de capital, mano de obra, tierra o habilidades requeridas para producir cada producto. Aunque la clasificación realizada por Leamer se hizo con una metodología diferente, llama la atención la concordancia entre ésta y la estructura del espacio del producto. Sin embargo, también introduce una división más detallada de algunas clases de productos. Por ejemplo, la maquinaria se divide naturalmente en dos grupos, uno que consiste en vehículos y maquinaria pesada y otro que pertenece a la electrónica. El grupo de maquinaria está entrelazado con algunos productos metálicos intensivos en capital, pero no está estrechamente conectado con productos clasificados de manera similar, como los textiles.

El mapa obtenido puede utilizarse para analizar la evolución de la estructura productiva de un país. Para este propósito, mantuvimos fijo el espacio del producto y estudiamos la dinámica de producción dentro de él, aunque los cambios en el espacio del producto representan una vía interesante para futuras investigaciones (20).

El patrón de especialización para cuatro regiones en el espacio del producto se muestra en la Fig. 2 (21). Los productos exportados por una región con RCA > 1 se muestran con cuadrados negros. Los países industrializados ocupan el núcleo, compuesto por maquinaria, productos metálicos y productos químicos. También participan en productos más periféricos como textiles, productos forestales y agricultura animal. Los países de Asia oriental han desarrollado RCA en los clústeres de prendas de vestir, electrónica y textiles, mientras que América Latina y el Caribe están más alejados en la periferia en la minería, la agricultura y el sector de la confección. Por último, el África subsahariana exporta pocos tipos de productos, todos los cuales se encuentran en la periferia lejana del espacio de productos. Estos resultados indican que cada región tiene un patrón distinguible de especialización claramente visible en el espacio del producto. Los enlaces a los mapas de los 132 países incluidos en el estudio se pueden encontrar en el texto Material de apoyo en línea (SOM). A continuación, mostramos cómo la estructura del espacio de productos afecta el patrón de especialización de un país. La Figura 3A muestra cómo evolucionaron las ventajas comparativas en Malasia y Colombia entre 1980 y 2000 en los sectores de la electrónica y la confección, respectivamente. Ambos países siguen un proceso de difusión en el que la ventaja comparativa se mueve preferentemente hacia productos cercanos a los existentes: prendas de vestir en Colombia y electrónica en Malasia.

**Prueba de difusión.** Más allá de esta ilustración gráfica, ¿es cierto que los países desarrollan ventajas comparativas preferencialmente en bienes cercanos? Utilizamos dos enfoques diferentes para esta pregunta. Primero, medimos la proximidad promedio de un nuevo producto potencial j a la estructura productiva actual de un país, lo que llamamos “densidad” y definimos como

Texto, Esquemático

Descripción generada automáticamente

donde wkj es la densidad alrededor del bien j dada la canasta exportadora del k-ésimo país y xi = 1 si RCAki > 1 y 0 en caso contrario. Un valor de densidad alto significa que el k-ésimo país tiene muchos productos desarrollados que rodean al j-ésimo producto.

Para estudiar la evolución de la ventaja comparativa, se consideraron “productos de transición” aquellos con RCAc,i < 0,5 en 1990 y RCAc,i > 1 en 1995. Como control, se consideraron “productos no desarrollados” aquellos que en 1990 y 1995 tuvo un RCAc,i < 0,5 y descartó aquellos casos que no cumplieran con ninguno de estos dos criterios.

La Figura 3B muestra cómo se distribuye la densidad alrededor de los productos de transición (amarillo) y la compara con las densidades alrededor de los productos no desarrollados (rojo). Claramente, estas distribuciones son muy distintas, con una mayor densidad alrededor de los productos de transición que entre los no desarrollados [análisis de varianza (ANOVA) P < 10−30].

A nivel de un solo producto, consideramos la relación entre la densidad promedio de todos los países en los que el j-ésimo producto era un producto de transición y la densidad promedio de todos los países en los que el j-ésimo producto no estaba desarrollado. Formalmente, definimos el “factor de descubrimiento” Hj como

Texto

Descripción generada automáticamente

donde T es el número de países en los que el j-ésimo bien fue un producto de transición y N es el número total de países. La figura 3C muestra la distribución de frecuencias de esta relación. Para el 79% de los productos, esta relación es mayor que 1, lo que indica que wj k es mayor en los países que hicieron la transición al j-ésimo bien que en los que no lo hicieron, a menudo de manera sustancial.

Una forma alternativa de ilustrar que los países desarrollan RCA en bienes cercanos a los que ya tenían es calcular la probabilidad condicional de hacer la transición a un producto dado que el producto más cercano con RCA > 1 está en un f dado. Existe una relación monótona (Fig. 3D) entre la proximidad del bien desarrollado más cercano y la probabilidad de hacer la transición a él. Aunque la probabilidad de pasar a un bien en f = 0,1 en el transcurso de 5 años es casi nula, la probabilidad es de alrededor del 15% si el bien más cercano está en f = 0,8 (22). Debido a que la producción se traslada a productos cercanos, preguntamos si el espacio del producto está lo suficientemente conectado como para que, con el tiempo suficiente, todos los países puedan llegar a la mayor parte, en particular a las partes más ricas.

La falta de conectividad puede explicar las dificultades que enfrentan los países que intentan converger a los niveles de ingresos de los países ricos: es posible que no puedan experimentar una transformación estructural porque las proximidades son demasiado bajas. Un enfoque simple es calcular el tamaño relativo del componente conectado más grande en función de f. En f ≥ 0.6, el componente conexo más grande tiene un tamaño insignificante en comparación con el número total de productos (Fig. 3E), mientras que para f ≤ 0.3 el espacio del producto está casi completamente conexo, lo que significa que siempre hay un camino entre dos productos diferentes.

Estudiamos el impacto de la estructura del espacio del producto al simular cómo evoluciona la posición de los países cuando se les permite moverse repetidamente a productos con proximidades mayores a cierta fo. Si los países se difunden a productos cercanos y estos están lo suficientemente conectados con otros, luego de varias iteraciones, 20 en nuestro ejercicio, los países podrían llegar a partes más ricas del espacio del producto. Por otro lado, si el espacio del producto está desconectado, los países no podrán encontrar caminos hacia la parte más rica del espacio del producto, independientemente de cuántos pasos se les permita dar.

Los resultados de nuestra simulación para Chile y Corea se presentan en la Fig. 4A. Con una proximidad relativamente baja (fo = 0,55), ambos países pueden difundirse hasta el núcleo del espacio del producto; sin embargo, Corea puede hacerlo mucho más rápido, gracias a su posicionamiento en productos básicos. Para proximidades más altas, la pregunta es si un país puede expandirse. Con fo = 0,6, Chile puede expandirse lentamente por todo el espacio, mientras que Corea aún puede poblar el núcleo después de cuatro rondas. Con fo = 0,65, Chile no puede difundir, ya que carece de productos lo suficientemente cercanos, mientras que Corea desarrolla RCA lentamente a unos pocos productos cercanos al clúster de maquinaria y electrónica.

Para generalizar este análisis para todo el mundo, necesitábamos una medida para resumir la posición de un país en el espacio de productos. Adoptamos una medida basada en Hausmann, Hwang y Rodrik (23), que implica un proceso de dos etapas. Primero, a cada producto le asignamos un valor, que es el producto interno bruto (PIB) per cápita ponderado de los países con ventaja comparativa en ese bien, denominado PRODY (23). Luego promediamos los PRODY de los N principales productos a los que un país tiene acceso después de M iteraciones en fo y lo denotamos por < PRODY > N M f o .

La figura 4B muestra la distribución de <PRODY>N M f o para N = 50, M = 20 y fo = 1 (verde), fo = 0,65 (amarillo) y f = 0,55 (rojo). La distribución para fo = 1 nos permite caracterizar la distribución actual de países en el espacio del producto, que muestra una distribución bimodal, una firma de un mundo dividido en países ricos y pobres con pocos países ocupando el centro de la distribución. Cuando permitimos que los países difundan hasta fo = 0,65, esta distribución no cambia significativamente: se desplaza ligeramente hacia la derecha debido a la adquisición de un número limitado de productos sofisticados por parte de algunos países. Este proceso de difusión, sin embargo, se detiene después de algunas rondas y el mundo mantiene un grado de desigualdad similar a su estado actual. Por el contrario, cuando consideramos fo = 0,55, la mayoría de los países son capaces de difundir y llegar a la canasta más sofisticada a largo plazo. Solo unos pocos países se quedan atrás, que como era de esperar conforman el extremo más pobre de la distribución del ingreso. Para cuantificar el nivel de convergencia, calculamos el rango intercuartílico (RIC) para la distribución < PRODY >50 20f y normalizamos esta cantidad dividiéndola por el RIQ de la distribución original. La Figura 4C muestra que la convergencia del sistema pasa por una transición abrupta y que la convergencia es posible si los países son capaces de difundir a productos ubicados en una proximidad f > 0.65.

La distribución bimodal de los niveles de ingreso internacionales y la falta de convergencia de los pobres hacia los ricos se ha explicado utilizando argumentos geográficos (24) e institucionales (12, 13). Aquí, introdujimos otro factor en esta discusión: las dificultades involucradas en moverse a través del espacio del producto. La estructura detallada del espacio del producto se muestra aquí y, junto con la ubicación de los países y las características del proceso de difusión experimentado por ellos, sugiere fuertemente que no todos los países enfrentan las mismas oportunidades en lo que respecta al desarrollo. Los países más pobres tienden a estar ubicados en la periferia, donde es más difícil avanzar hacia nuevos productos. Más interesante aún, entre países con un nivel similar de desarrollo y niveles aparentemente similares de sofisticación de producción y exportación, existe una variación significativa en el conjunto de opciones implícitas en su estructura productiva actual, con algunos en un camino hacia la transformación estructural y el crecimiento continuos y otros estancados. en un callejón sin salida.

Estos hallazgos tienen importantes consecuencias para la política económica, porque los incentivos para promover la transformación estructural en presencia de oportunidades próximas son bastante diferentes de los que se requieren cuando un país llega a un callejón sin salida. Es bastante difícil que la producción se desplace a productos lejanos en el espacio y, por lo tanto, las políticas para promover grandes saltos son más desafiantes. Sin embargo, son precisamente estos saltos largos los que generan la transformación estructural, la convergencia y el crecimiento posteriores.

To generalize this analysis for the whole world, we needed a measure to summarize the position of a country in the product space. We adopted a measure based on Hausmann, Hwang, and Rodrik (23), which involves a two-stage process. First, for every product we assigned a value, which is the weighted gross domestic product (GDP) per capita of countries with comparative advantage in that good, called PRODY (23). We then averaged the PRODYs of the top N products that a country has access to after M iterations at fo and denoted it by < PRODY >N M f o . Figure 4B shows the distribution of< PRODY >N M f o for N = 50, M = 20, and fo = 1 (green), fo = 0.65 (yellow), and f = 0.55 (red). The distribution for fo = 1 allows us to characterize the current distribution of countries in the product space, which shows a bimodal distribution, a signature of a world divided into rich and poor countries with few countries occupying the center of the distribution. When we allow countries to diffuse up to fo = 0.65, this distribution does not change significantly: it shifts slightly to the right because of the acquisition of a limited number of sophisticated products by some countries. This diffusion process, however, stops after a few rounds, and the world maintains a degree of inequality similar to its current state. Contrarily, when we consider fo = 0.55, most countries are able to diffuse and reach the most sophisticated basket in the long run. Only a few countries are left behind, which unsurprisingly make up the poorest end of the income distribution. To quantify the level of convergence we calculated the interquartile range (IQR) for the < PRODY >50 20f distribution and normalized this quantity by dividing it with the IQR for the original distribution. Figure 4C shows that the convergence of the system goes through an abrupt transition and that convergence is possible if countries are able to diffuse to products located at a proximity f > 0.65.

The bimodal distribution of international income levels and a lack of convergence of the poor toward the rich has been explained by using geographic (24) and institutional (12, 13) arguments. Here, we introduced another factor to this discussion: the difficulties involved in moving through the product space. The detailed structure of the product space is shown here and, together with the location of the countries and the characteristics of the diffusion process undergone by them, strongly suggests that not all countries face the same opportunities when it comes to development. Poorer countries tend to be located in the periphery, where moving toward new products is harder to achieve. More interestingly, among countries with a similar level of development and seemingly similar levels of production and export sophistication, there is significant variation in the option set implied by their current productive structure, with some on a path to continued structural transformation and growth and others stuck in a dead end.

These findings have important consequences for economic policy, because the incentives to promote structural transformation in the presence of proximate opportunities are quite different from those required when a country hits a dead end. It is quite difficult for production to shift to products far away in the space, and therefore policies to promote large jumps are more challenging. Yet it is precisely these long jumps that generate subsequent structural transformation, convergence, and growth.