

¿Por qué añadir una carretera puede empeorar el tráfico?

Juan Seguro · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 046 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Una carretera nueva puede empeorar el tráfico si cambia las rutas que eligen las personas de una manera que aumenta la congestión. Las carreteras originales pueden seguir disponibles y, aun así, puede cambiar el patrón de uso. Tener más rutas posibles no garantiza que las rutas elegidas de manera independiente produzcan un mejor resultado colectivo.

Esta posibilidad se conoce como paradoja de Braess. Es un resultado condicional sobre una red, funciones de tiempo de viaje y elecciones de ruta. No es una regla según la cual las carreteras nuevas sean perjudiciales. El análisis original de Braess, disponible en una traducción al inglés publicada en 2005, distingue un equilibrio de elección de rutas de un patrón de flujos que minimiza el tiempo de viaje. [1]

1. Una red que podemos calcular

Consideremos un ejemplo ilustrativo estándar con 4 000 viajeros que realizan el mismo trayecto durante un período modelizado. Hay dos rutas de un origen O a un destino D. La ruta superior pasa por A; la inferior pasa por B. Al principio no hay carretera entre A y B.

En la carretera O-A, el tiempo de viaje en minutos es el número x de viajeros que la usan dividido por 100. En la carretera B-D se aplica la misma regla a su propio flujo. Las otras dos carreteras, A-D y O-B, requieren 45 minutos cada una con independencia del flujo. Es un modelo estático deliberadamente simplificado. No es un sistema viario medido ni una descripción de colas que se forman minuto a minuto.

Si 2 000 viajeros toman cada ruta, el tramo de tiempo variable requiere 20 minutos y el de tiempo fijo, 45. Por tanto, cada ruta requiere 65 minutos. Si muchos más viajeros toman la ruta superior, esa ruta se vuelve más lenta y la inferior se hace más atractiva. El reparto igualitario es el equilibrio en el modelo en que cada viajero tiene una influencia despreciable sobre el flujo total.

Aquí, equilibrio significa que ningún viajero puede acortar el trayecto eligiendo unilateralmente otra ruta disponible mientras las elecciones de todos los demás permanecen fijas. No significa que la red haya alcanzado todos los objetivos sociales posibles ni que las personas reales descubran el equilibrio instantáneamente.

2. Añadamos una conexión muy atractiva

Añadamos ahora una conexión unidireccional A-B con tiempo de viaje cero. Cero es una idealización elegida para hacer transparente la aritmética. No cambia ninguna otra carretera ni función de tiempo de viaje, y la demanda total sigue siendo de 4 000.

Con el reparto original, un viajero puede ver una ruta atractiva O-A-B-D: aproximadamente $20 + 0 + 20 = 40$ minutos. Parece mucho mejor que 65. Pero el cálculo usa la congestión anterior mientras contempla un nuevo patrón colectivo. No puede seguir siendo correcto si todos responden del mismo modo.

En el nuevo equilibrio, los 4 000 viajeros toman la ruta que usa la conexión. Los tramos O-A y B-D requieren 40 minutos cada uno, de modo que el total es de 80 minutos. Un

individuo que cambie a la antigua ruta superior tardaría $40 + 45 = 85$ minutos; la antigua ruta inferior requeriría $45 + 40 = 85$. Ningún individuo gana abandonando la nueva ruta.

Así, el modelo ha pasado de 65 minutos por viajero a 80, un empeoramiento de 15 minutos. Todas las opciones antiguas siguen físicamente disponibles. Lo que desapareció fue el antiguo patrón de uso, no las carreteras antiguas. Este cálculo ilustra el mecanismo identificado por Braess. [1] Los números utilizados aquí forman un ejemplo ilustrativo estándar.

3. Por qué no pueden todos elegir simplemente la solución anterior

Podrían hacerlo si sus elecciones se coordinaran y se mantuvieran. Pero con el reparto igualitario por las rutas antiguas, un individuo puede tomar el nuevo atajo y ganar. Esa desviación ventajosa vuelve inestable la asignación anterior bajo la regla de elección individual especificada.

El problema es el coste que un viajero impone a los demás al incorporarse a un tramo susceptible de congestión. Cada viajero compara tiempos de viaje personales. La comparación no incluye automáticamente el retraso adicional impuesto a todos los demás viajeros que comparten una carretera. Por tanto, el movimiento individualmente atractivo y la asignación colectivamente deseable son problemas de optimización diferentes.

El modelo no acusa a los viajeros de cometer errores aritméticos. En el nuevo equilibrio, la ruta que cada uno elige es una mejor respuesta a las rutas que usan los demás. La información perfecta sobre los tiempos de viaje modelizados no haría por sí sola que el antiguo reparto igualitario fuera un equilibrio.

Un coordinador podría prohibir el atajo o usar un sistema adecuado de incentivos para cambiar las opciones disponibles o sus costes. Esa afirmación identifica una posibilidad dentro del modelo. No es una recomendación de cerrar una carretera real sin considerar la demanda, el acceso, la seguridad, los efectos distributivos y los medios de transporte alternativos.

4. Qué contaría como evidencia en una carretera real

Para comprobar si este mecanismo importa en una red concreta, no basta con observar viajes más largos después de la construcción. La demanda puede haber cambiado; otras calles pueden haber cerrado; la señalización, los incidentes o el transporte público pueden ser diferentes. Necesitaríamos flujos por ruta y tiempos de viaje, un período de comparación o un contrafactual creíble, y una explicación explícita de los otros cambios.

El ejemplo matemático mantiene fija la demanda, de modo que su empeoramiento no requiere demanda inducida. Los sistemas de transporte reales pueden mostrar ambos efectos, pero no deben confundirse. Más viajes tras mejorar el acceso es una vía causal distinta de un peor equilibrio para el mismo número de viajes.

Del mismo modo, la adaptación a corto plazo no es idéntica al equilibrio estático. Los conductores aprenden, reciben información distinta y afrontan restricciones diferentes. Algunos valoran la fiabilidad o evitar peajes más que el tiempo medio de viaje. La finalidad del modelo sencillo es aislar un mecanismo posible antes de añadir estas complicaciones, no suponer que están ausentes de las ciudades reales.

5. La respuesta depende del comportamiento, no solo de las carreteras

Añadir una opción no puede empeorar la mejor asignación alcanzable si un coordinador puede simplemente ignorarla y todo lo demás permanece igual. Pero un equilibrio autoorganizado no es lo mismo que esa mejor asignación alcanzable. Una opción adicional puede desestabilizar una asignación buena y sostener otra peor.

Por tanto, el título tiene una respuesta precisa: una carretera nueva puede redirigir elecciones individualmente racionales hacia cuellos de botella compartidos. Que lo haga en una red concreta es una cuestión empírica y dependiente del modelo. El error es inferir el rendimiento solo a partir del número de conexiones, sin especificar cómo eligen las personas entre ellas y cómo sus elecciones cambian los costes.

Lectura relacionada

El artículo 045, «¿Puede una figura tener área finita y perímetro infinito?», separa dos magnitudes que la intuición tiende a vincular. El artículo 047, «¿Cómo puede ser erróneo un resultado positivo?», también hace depender una inferencia de sus condiciones explícitas.

Referencias

[1] Braess, D., Nagurney, A., and Wakolbinger, T. "On a Paradox of Traffic Planning." *Transportation Science* 39(4), 446–450 (2005). Traducción inglesa del artículo de Braess de 1968.
<https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0127>