

# Modelos de equilibrio general para transporte

¿Por qué son útiles para evaluar políticas y tecnologías?

Diego Candia  
PhD Economía de Transporte  
Profesor Asistente  
Universidad de Chile



# Motivación: el transporte afecta más que los viajes

Las políticas de transporte cambian la accesibilidad. Eso puede afectar flujos y tiempos, pero también localización, empleo, precios urbanos y bienestar.

## Evidencia empírica

Baum-Snow (2007) muestran que la expansión **de autopistas interestatales** contribuyó a la caída de población en los centros urbanos y al desplazamiento residencial hacia suburbios. Sus estimaciones sugieren que una **nueva autopista redujo la población del centro urbano en torno a 18%**.

Duranton & Turner (2012) estiman que un aumento de **10%** en el stock de autopistas se asocia con cerca de **1,5% más empleo** en un horizonte de 20 años.

Hoogendoorn et al. (2019) usan la apertura del túnel Westerschelde en Países Bajos para estimar que el efecto de **aumentar la accesibilidad en un 1% implica un aumento de 0.8% en el precio de las viviendas**.

# De modelos parciales a equilibrio general espacial

## **Modelo parcial de transporte**

Cambia una política o tecnología.

Cambian tiempos, costos, rutas, modos y flujos.

La ciudad suele quedar fija: población, empleo, salarios, rentas y localización no reaccionan.

## **Equilibrio general espacial**

Cambian tiempos y costos de viaje.

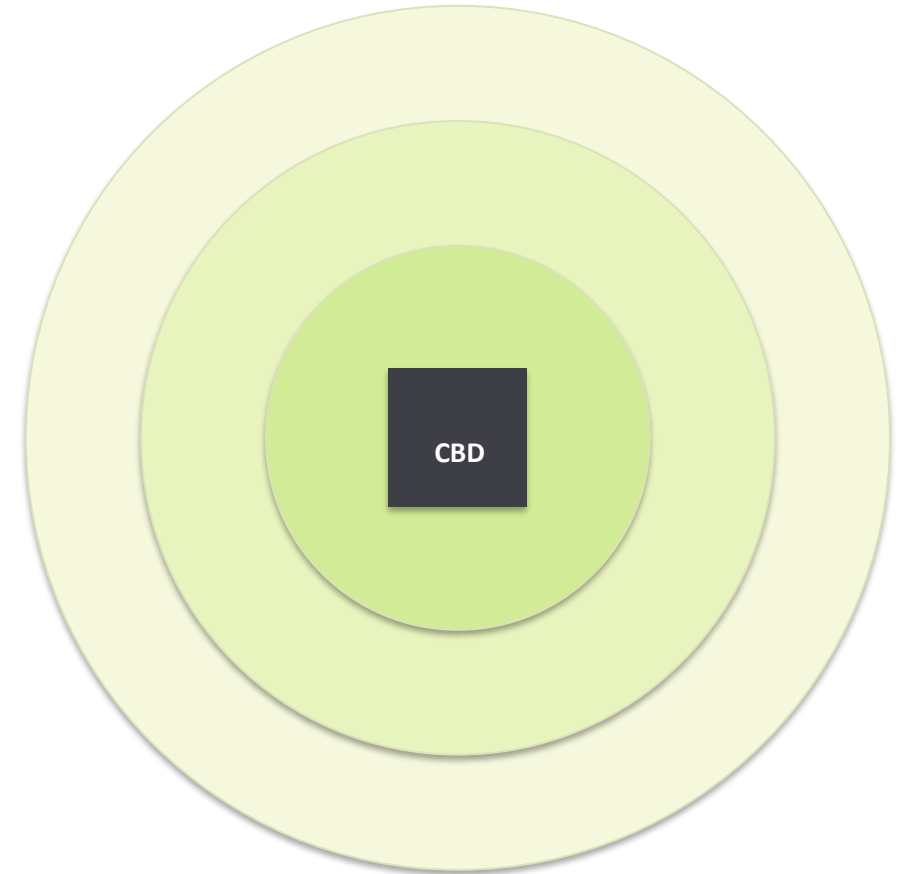
Hogares y firmas ajustan decisiones.

Se equilibran transporte, vivienda, suelo, trabajo y producción.

El resultado final incluye efectos directos e indirectos.

# El punto de partida: el modelo monocéntrico

- Todos los empleos están en el centro de la ciudad.
- Los hogares eligen dónde vivir.
- Vivir más lejos suele implicar viajes más largos o costosos.
- Pero también permite acceder a suelo o vivienda más baratos.



Mayor costo de transporte → menor precio del suelo

# Extensiones: cuando el monocéntrico se vuelve más general

El modelo monocéntrico también se ha usado para analizar políticas de transporte con mecanismos de equilibrio general.

## **Verhoef (2005)**

Congestión endógena

Densidad residencial endógena

Oferta laboral endógena

Tarifificación tipo cordón y cargos por kilómetro

## **Tikoudis et al. (2015)**

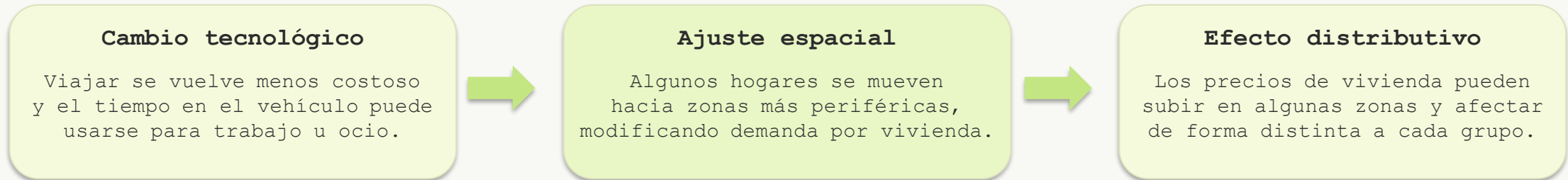
Verhoef (2005) + Mercado laboral con impuestos

## **Candia (2026)**

Tikoudis et al. (2015) + hogares de distintos ingresos y vehículos autónomos

# Resultados del modelo monocéntrico: vehículos autónomos

Los autos autónomos aumentan el bienestar agregado, pero los beneficios no se distribuyen de forma un



## Resultados destacados

Las ganancias agregadas pueden coexistir con pérdidas para algunos grupos.

Los resultados dependen de dónde se ubican inicialmente hogares de mayores y menores ingresos.

La forma de reciclar ingresos o ajustar impuestos laborales cambia la distribución de beneficios.

**La evaluación de bienestar depende de localización, vivienda, grupos de ingreso y política fiscal.**

# De la ciudad monocéntrica a modelos espaciales aplicados

## Modelos espaciales computables

**RELU-TRAN (Anas y Liu, 2007):** integra economía urbana, uso de suelo y transporte en un equilibrio general metropolitano.

Múltiples zonas, redes reales y mercados de suelo, trabajo y bienes.

Permiten evaluar políticas de transporte con efectos sobre accesibilidad, localización de hogares y firmas, precios de viviendas, etc. con **configuraciones espaciales que buscan representar zonas reales**

# Distintas tradiciones convergen en la misma idea

Integrar transporte, localización y mercados urbanos aparece en varias literaturas, con lenguajes distintos.

## **Economía de transporte**

Modelo monocéntrico

RELU-TRAN (Anas y Liu, 2007) y derivados

## **Quantitative spatial models (QSM)**

Proviene de economistas urbanos

Foco en estimación de parámetros

## **LUTI / transporte–uso de suelo**

Interacción entre transporte y localización

Ejemplos: MUSSA

# Un modelo de equilibrio general para Países Bajos

El país se representa como zonas conectadas por una red de transporte.

Hogares eligen residencia, empleo, consumo, vivienda, trabajo, ocio, modo y ruta.

Industrias productoras de bienes, y de vivienda.

Redes de transporte privado y público

Inclusión de modos de transporte tradicionalmente ignorados: bicicleta y caminata



# Ecuaciones del modelo

El equilibrio se construye a partir de condiciones económicas básicas que deben cumplirse simultáneamente.

## 1 Hogares: maximizan utilidad

Eligen residencia, empleo, consumo, vivienda, ocio, modo y ruta.

$$\begin{aligned} \max U(\text{consumo}, \text{vivienda}, \text{ocio}, \text{viajes}) \\ \text{s.a. presupuesto y tiempo} \end{aligned}$$

- demandas, oferta laboral y decisiones de viaje/localización.

## 2 Firmas: maximizan beneficios

Eligen producción, empleo y localización dadas tecnologías y precios.

$$\begin{aligned} \max \pi = \text{ingresos} - \text{costos} \\ \text{competencia: } \pi = 0 \end{aligned}$$

- demanda de trabajo, uso de suelo y precios consistentes con costos.

## 3 Mercados: oferta = demanda

Precios, salarios y rentas ajustan hasta compatibilizar cantidades.

$$\begin{aligned} \text{demanda de trabajo} &= \text{oferta de trabajo} \\ \text{demanda de vivienda/suelo} &= \text{oferta} \\ \text{demanda de bienes} &= \text{producción} \end{aligned}$$

- salarios, rentas, precios y cantidades de equilibrio.

## 4 Red de transporte: consistencia

La elección de modo/ruta depende de tiempos y costos; los tiempos dependen de los flujos.

$$\text{flujos} \rightarrow \text{congestión} \rightarrow \text{tiempos}$$

- los tiempos usados para decidir coinciden con los resultantes de cargar la red.

# Estructura del modelo

## Qué interactúa



## Ecuaciones

### Por zona

mercado de suelo, trabajo, vivienda, producción, precios/rentas, densidad y variables de accesibilidad

### Por link de la red de autos

tiempos congestionados, flujos, costos generalizados y externalidades marginales

### Condiciones agregadas

presupuesto público, recaudación, numeraire y cierres macroeconómicos

### Ecuaciones de equilibrio

Ejemplo:  $9 \times$  zonas + condiciones agregadas +  $2 \times$  links viales

# Modelo calibrado con datos

Población y empleo por zona

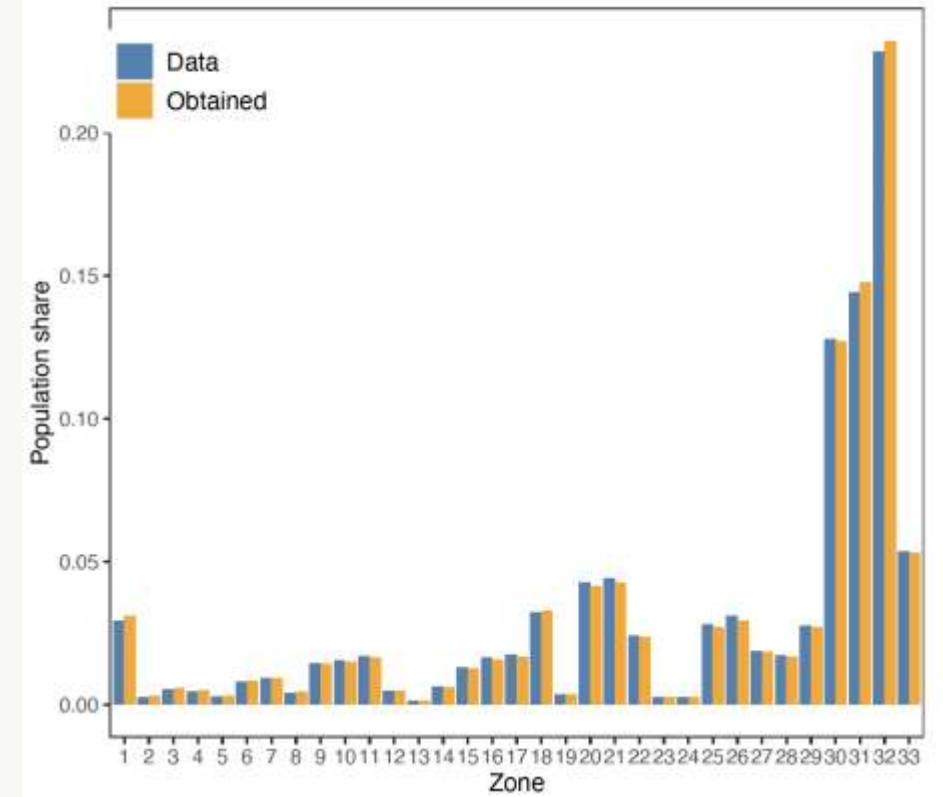
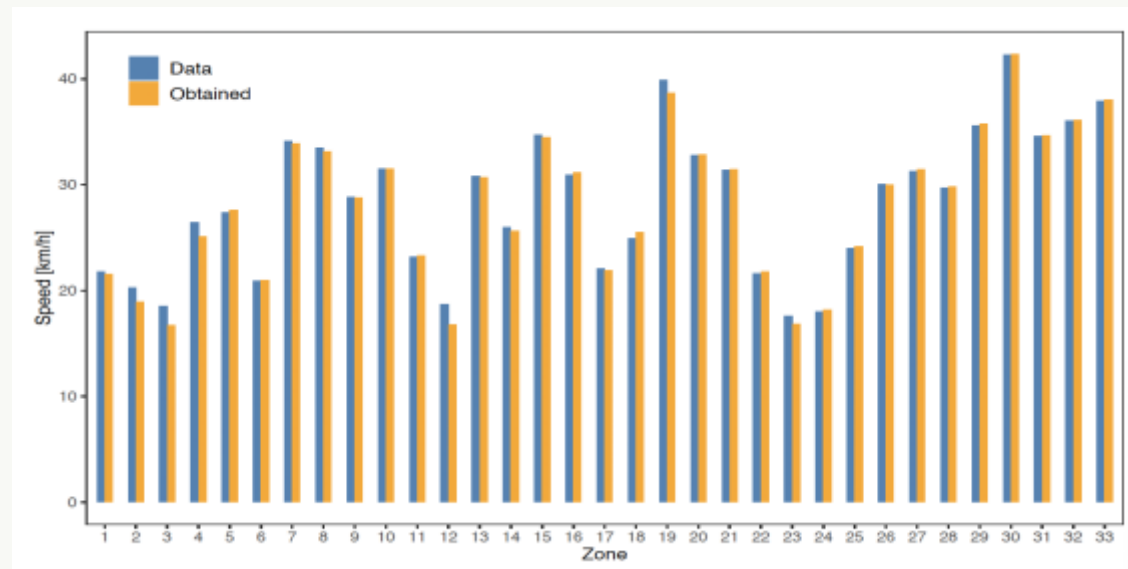
Viajes generados y atraídos

Tiempos, costos y velocidades de transporte

Partición modal

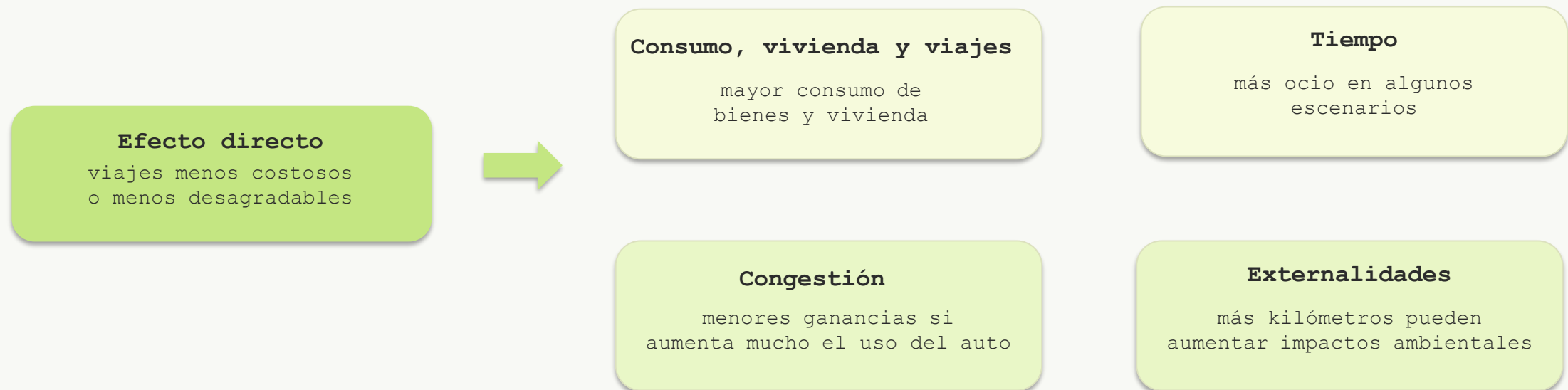
Salarios por zona

Precios o rentas de vivienda/suelo



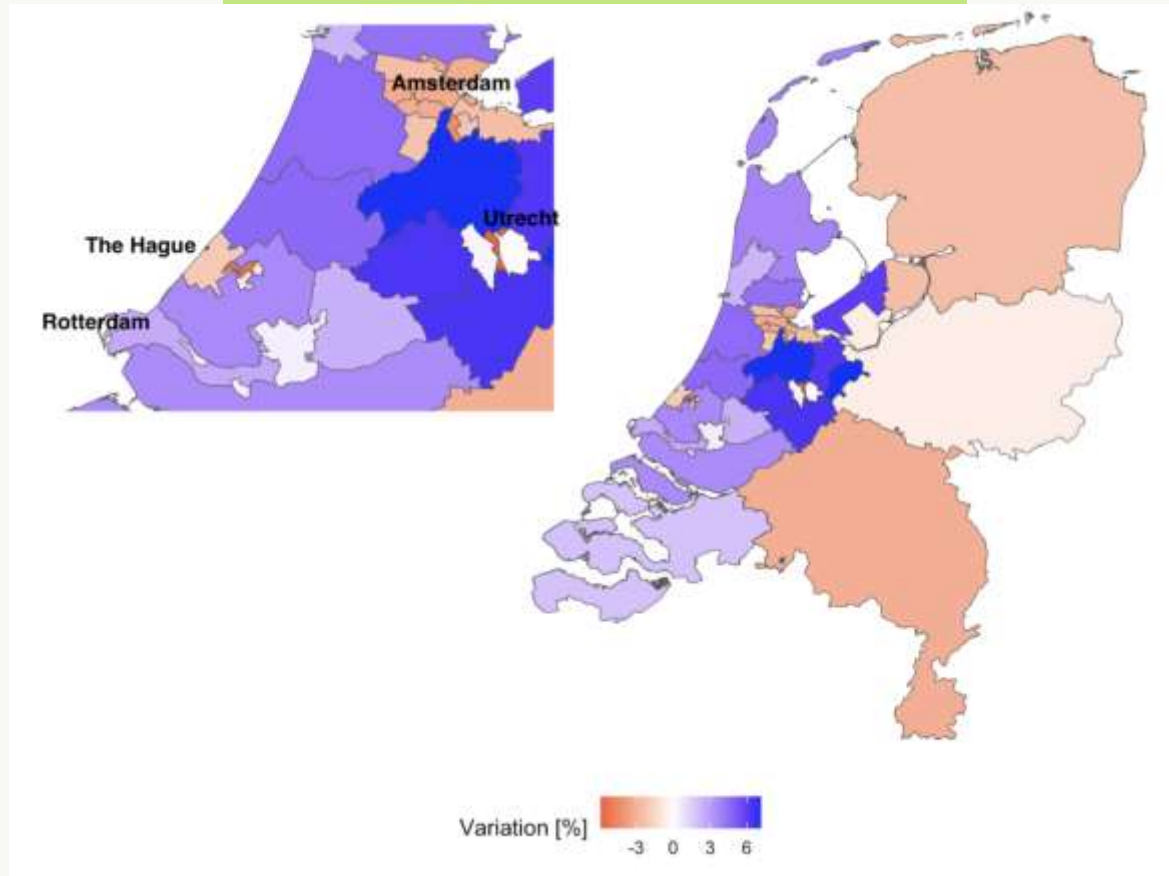
# Resultados para Países Bajos

AVs aumentan el bienestar agregado en los escenarios simulados.



# Más resultados

## Variación en población por zona

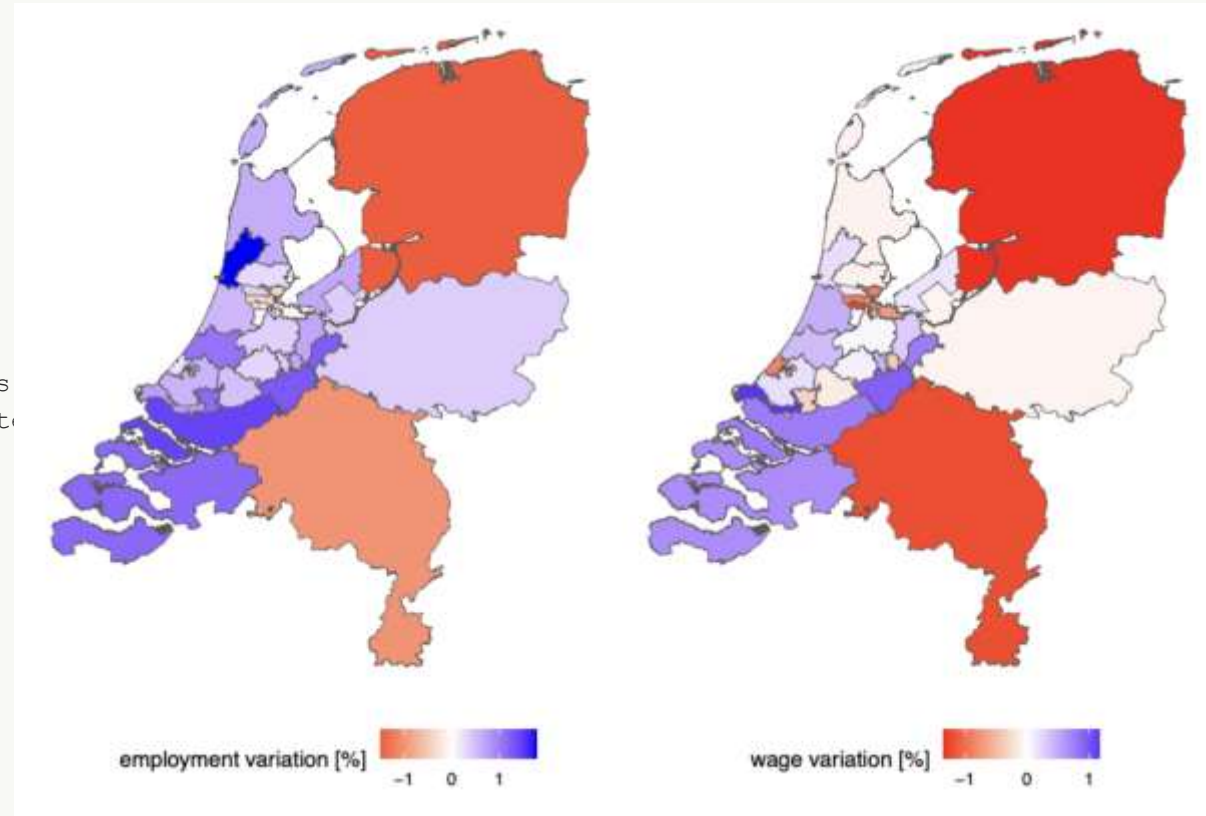


# Empleo y salarios

Los efectos no son homogéneos entre zonas: la tecnología altera simultáneamente empleo, salarios y lo

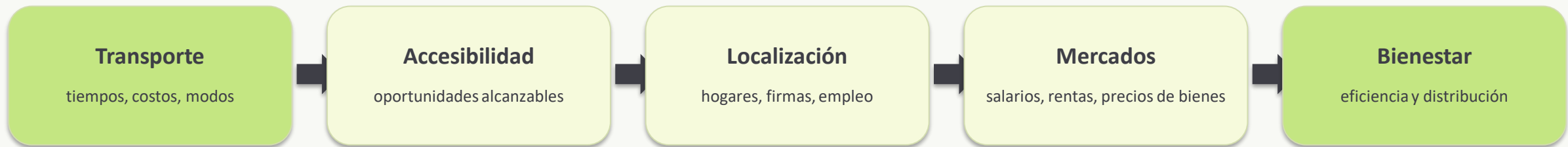
## Lo que agrega el equilibrio general

Cambios en accesibilidad afectan dónde se concentran hogares  
Los salarios ajustan junto con vivienda, trabajo y transporte



# Conclusiones

**Las políticas de transporte no solo cambian viajes: pueden cambiar la organización espacial de la ciudad.**



**¿qué pasa con la ciudad y la economía cuando cambia el sistema de transporte?**

**Necesidad de datos**

# Referencias seleccionadas

Baum-Snow, N. (2007). Did highways cause suburbanization? *Quarterly Journal of Economics*, 122(2), 775–805.

Duranton, G., & Turner, M. A. (2012). Urban growth and transportation. *Review of Economic Studies*, 79(4), 1407–1440.

Hoogendoorn, S., van Gemeren, J., Verstraten, P., & Folmer, K. (2019). House prices and accessibility. *Journal of Economic Geography*, 19(1), 57–87.

Gelauff, G., Ossokina, I., & Teulings, C. (2019). Spatial and welfare effects of automated driving. *Transportation Research Part A*, 121, 277–294.

Teulings, C. N., Ossokina, I. V., & de Groot, H. L. F. (2018). Land use, worker heterogeneity and welfare benefits of public goods. *Journal of Urban Economics*, 103, 67–82.

Verhoef, E. T. (2005). Second-best congestion pricing schemes in the monocentric city. *Journal of Urban Economics*, 58(3), 367–388.

Redding, S. J., & Rossi-Hansberg, E. (2017). Quantitative spatial economics. *Annual Review of Economics*, 9, 21–58.

Martínez, F. J. (1996). MUSSA: Land use model for Santiago City. *Transportation Research Record*, 1552, 126–134.

Anas, A., & Liu, Y. (2007). A regional economy, land use, and transportation model (RELU-TRAN). *Journal of Regional Science*, 47(3), 415–455.