



NACIONES UNIDAS



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



UNIVERSIDAD  
SERGIO ARBOLEDA

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

# Jornadas sobre Perspectivas de Electromovilidad en Colombia y Bogotá

Bogotá, 12 al 14 de Septiembre 2022

## Modelo de equilibrio general computable dinámico estocástico para el análisis de evaluaciones de impacto

Jesús Morales



# Motivación

- Los economistas del comercio en algunas instituciones se basan principalmente en **modelos de equilibrio general computable (CGE)** con una considerable desagregación sectorial, se centran en las relaciones insumo-producto, pero hacen menos hincapié en las micro fundamentos y los ajustes dinámicos. (**Modelos Reales**)
- Los macroeconomistas de otras instituciones explotan los **modelos de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE)** con una desagregación considerablemente menor, pero con más énfasis en la dinámica, la consistencia de los flujos y stocks, las reglas de política y las expectativas. (**Modelos Monetarios**)
- El modelo propuesto es uno de **DSGE**, con varias fricciones y choques, e incorporar una **desagregación sectorial**, basada en las relaciones insumo-producto y sus interacciones desagregadas con el resto del mundo al estilo de los computables.

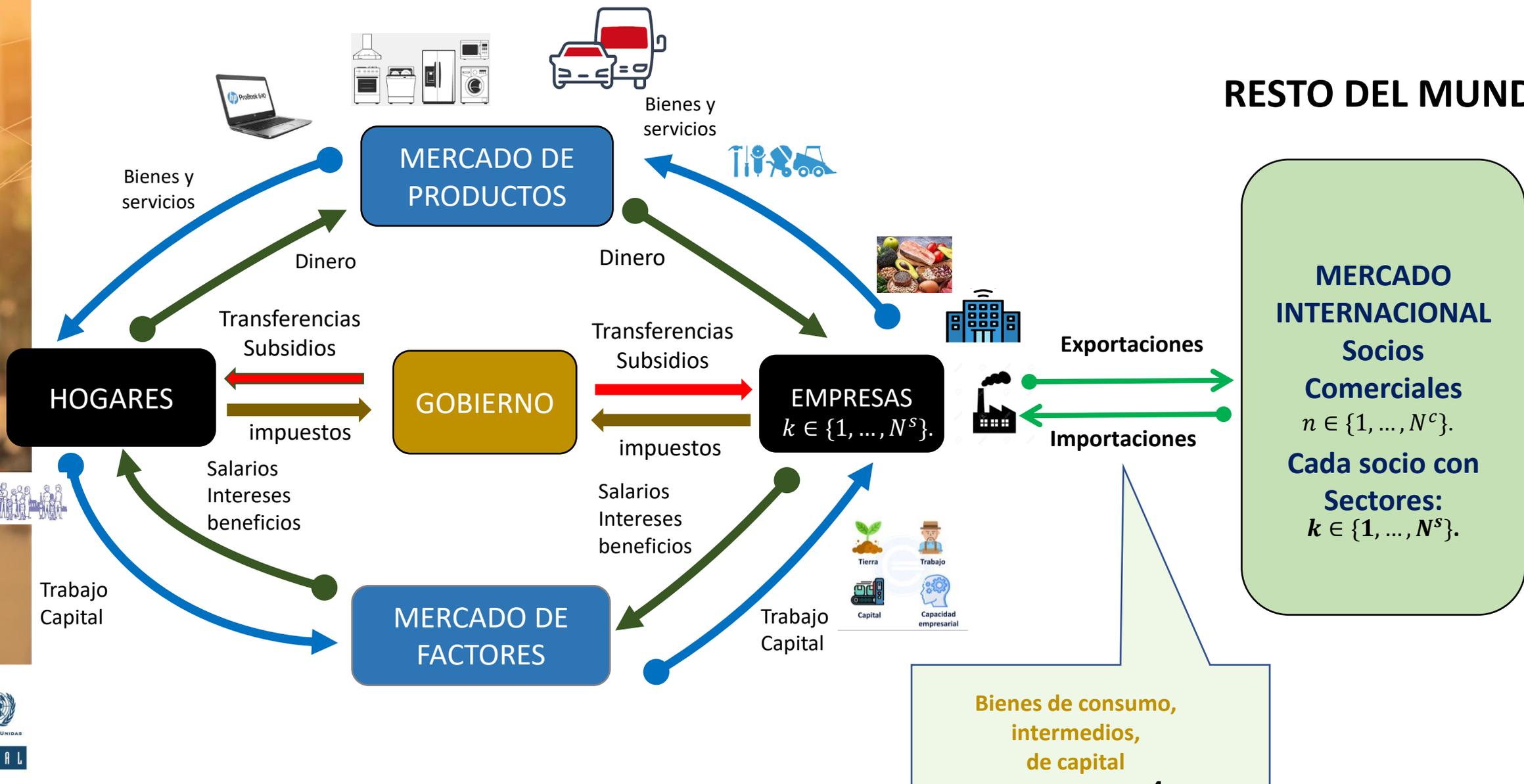
# Características del enfoque

---

- Modelo de equilibrio general dinámico estocástico
  - Compatible con **Insumo-Producto**.
  - Compatible con **modelos computables**.
  - + Expectativas.
  - + Aspectos monetarios.
  - + Ecuaciones de comportamiento agentes optimizadores.
  - + No linealidades (sustitución y rendimiento a escala).
  - + Enfoque coste beneficio.
  - + Permite la estimación de los parámetros que determinan la dinámica del modelo.

# PAÍS DE REFERENCIA

# RESTO DEL MUNDO

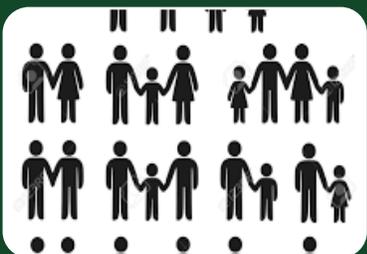




## Empresas (nacionales: $i; i'$ , extranjeras: $j; j'$ , $k=sectores$ )

- $y$  = producción
  - $L$  = trabajo;  $K$  = capital;  $Z$  = insumos intermedios
  - $a$  = shock de productividad;  $\varepsilon$  = innovación
- $\left\{ \begin{array}{l} \text{Nacionales} \\ \text{extranjeras} \end{array} \right.$

**Max  
Beneficio**



## Hogares

- $C$  = consumo;  $M$  = stock de dinero;  $n$  = horas trabajadas
- $P$  = precio doméstico;  $P^*$  = precio internacional  $t$  = tiempo;  $k$  = sectores
- $B$  = bono;  $s$  = acciones; intereses, salarios, dividendos, transferencias
- $s$  = tipo de cambio

**Max  
Utilidad**



## Gobierno

- Emite dinero, recauda tributos
- Política Fiscal (transferencias)
- Política Monetaria (Emisión de dinero, tipo de interés)



## Sector externo

- Exportaciones, importaciones
- Aranceles
- Precio doméstico y precio internacional

# El modelo

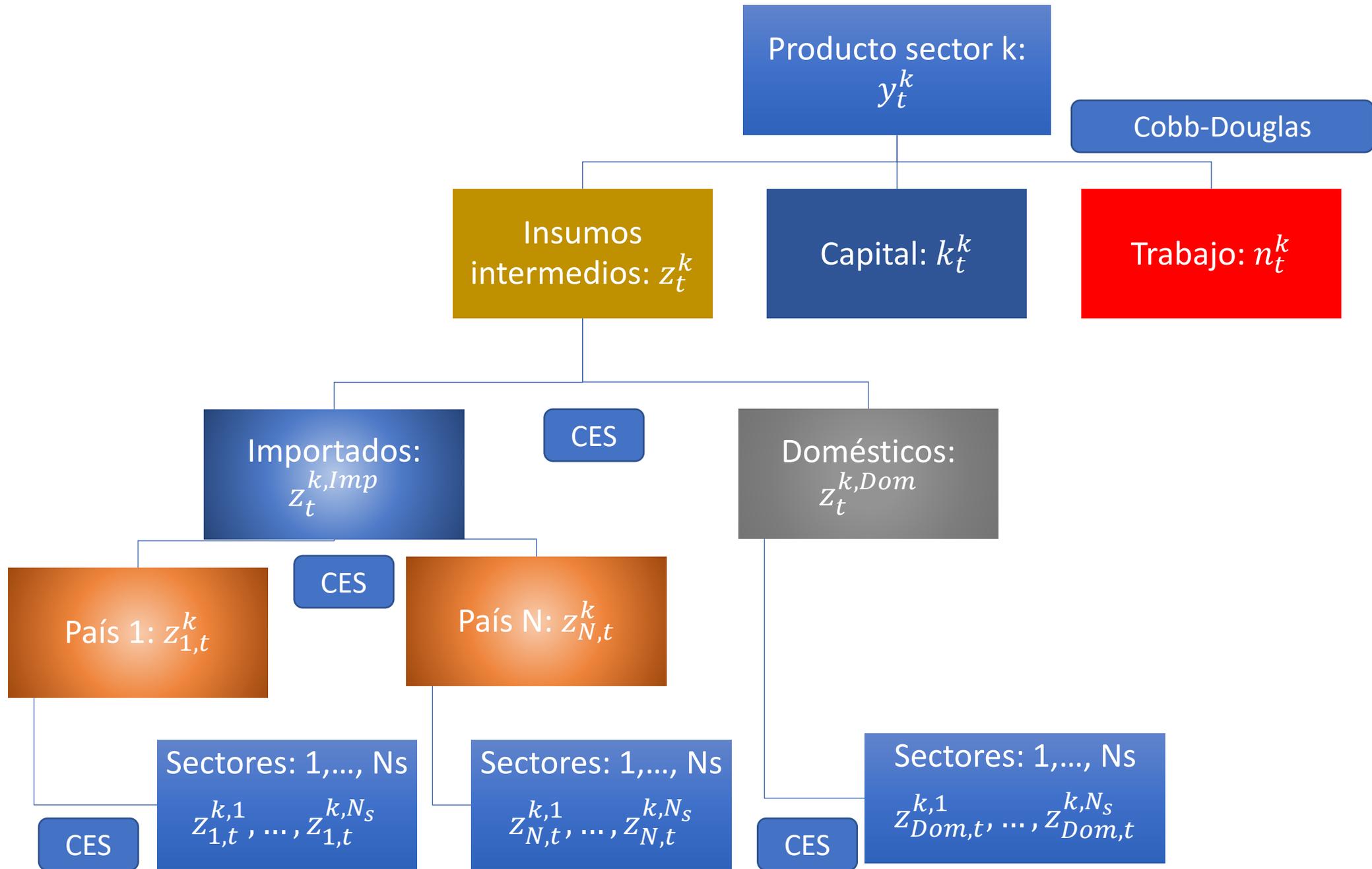
---

- Se hace una extensión de los modelos presentados por Bouakez, Cardia, and Ruge-Murcia (*European Economic Review*, 2014) y Pasten, Schoenle, and Weber (*Journal of Monetary Economics*, 2020).
- Se hace la adecuación para una economía abierta que considere el conjunto completo de los principales países de los que se importan insumos intermedios, bienes de consumo finales y bienes de capital.
- Se incorpora una estructura de impuestos desagregada, tanto al consumo final, como a las importaciones y exportaciones.
- Se incluye el capital como factor de producción en el proceso productivo que permitirá estudiar diferentes escenarios en los que se pueden implementar la aplicación de la electro movilidad sobre el empleo, PIB, consumo, etc.
- Se incorporan rigideces de precios y de movilidad de trabajo a la Rotemberg (1982).

# Producción y Consumo Intermedio

---

- La producción se lleva a cabo por un continuo de empresas en cada uno de los sectores  $k \in \{1, \dots, N^S\}$ .
- Las empresas del mismo sector son idénticas, excepto por el hecho de que sus productos son diferenciados y, en consecuencia, tienen un **poder de competencia monopolística**.
- Las empresas en diferentes sectores tienen **diferentes funciones de producción**, utilizan diferentes combinaciones de materiales e insumos de inversión, y enfrentan diferentes fricciones de precios nominales.



# Producción y Consumo Intermedio

---

La empresa  $j$  del sector  $k$  produce:

$$y_t^{k,j} = (a_t^k n_t^{k,j})^{\alpha_k} (K_t^{k,j})^{\beta_k} (Z_t^{k,j})^{1-\alpha_k-\beta_k},$$

donde  $a_t^k$  es un shock de productividad específico del sector  $k$  definido por:

$$\ln(a_t^k) = (1 - \rho_k) \ln(a_{ss}^k) + \rho_k \ln(a_{t-1}^k) + \epsilon_t^{a^k},$$

$\rho \in (-1,1)$ ;  $\ln(a_{ss}^k)$  es la media incondicional y la innovación  $\epsilon_t^{a^k}$  se distribuye de forma idéntica e independiente (i:i:d:) con media cero y varianza  $\sigma_{a^k}^2$ .

# Insumos Intermedios

- $Z_t^{k,j}$  es un agregador de bienes intermedios , domésticos e importados, definido por:

$$Z_t^{k,j} = \left( \sum_{i=1}^{N_c} \omega_{k,i}^{\frac{1}{\eta_k}} \left( Z_{i,t}^{k,j} \right)^{1-\frac{1}{\eta_k}} \right)^{\frac{\eta_k}{\eta_k-1}},$$

donde

$$Z_{i,t}^{k,j} = \left( \sum_{k'=1}^{N_s} \omega_{k,i,k'}^{\frac{1}{\eta}} Z_{i,t}^{k,j}(k')^{1-\frac{1}{\eta}} \right)^{\frac{\eta}{\eta-1}},$$

- $Z_{i,t}^{k,j}(k')$  representa los insumos intermedios usados por la empresa  $j$  del sector  $k$  provenientes del sector  $k'$  en el país  $i$  en el periodo  $t$ .
- $\eta$  es la elasticidad de sustitución entre los bienes de domésticos,
- $\eta_k$  es la elasticidad de la sustitución entre bienes de inversión nacionales e importados del sector  $k$ .

# Demanda de insumos intermedios

- $Z_{i,t}^{k,j}(k') = \omega_{k,i,k'} \left( \frac{(1+\tau_{k',i})P_t^{k',i}}{P_{Z,t}^{k,i}} \right)^{-\eta} Z_{i,t}^{k,j}$ ,

$$\sum_{i_k=1}^{N_s} \omega_{k,i,i_k} = 1,$$

$\forall k, k' \in \{1, \dots, N_s\}, \forall i \in \{1, \dots, N_c\}$ .

$N_s^2 * N_c$   
ecuaciones  
 $35^2 * 11$   
 $=13,475$

- $Z_{i,t}^{k,j} = \omega_{k,i} \left( \frac{P_{Z,t}^{k,i}}{P_{Z,t}^k} \right)^{-\eta_k} Z_t^{k,j}$ ,

$$\sum_{i_c=1}^{N_c} \omega_{k,i_c} = 1,$$

$\forall k \in \{1, \dots, N_s\} \text{ y } \forall i \in \{1, \dots, N_c\}$ .

$N_s * N_c$   
ecuaciones  
 $35 * 11 = 385$

- $P_{Z,t}^{k,i} = \left( \sum_{k'=1}^{N_s} \hat{\omega}_{k,i,k'} ((1 + \tau_{k',i}) P_t^{k',i})^{1-\eta} \right)^{\frac{1}{1-\eta}}$ ,

- $P_{Z,t}^k = \left( \sum_{i=1}^{N_c} \omega_{k,i} (P_{Z,t}^{k,i})^{1-\eta_k} \right)^{\frac{1}{1-\eta_k}}$ .

- $P_{Z,t}^k Z_t^{k,j} = \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{k'=1}^{N_s} (1 + \tau_{k',i}) P_t^{k',i} Z_{i,t}^{k,j}(k')$

↑  
Aranceles

Todos los  $\omega$  se calibran con la matriz de I-P

# El Stock de capital

El capital es específico y propiedad directa de las empresas.

$$K_{t+1}^{k,j} = (1 - \delta)K_t^{k,j} + X_t^{k,j},$$

donde  $\delta \in (0,1)$  es la tasa de depreciación y  $X_t^{k,j}$  es la demanda de la empresa  $j$  del sector  $k$  del bien de inversión agregado  $X_t$ .

- El bien de inversión es un agregado de bienes domésticos e importados definido por:

$$X_t = \left( \sum_{i=1}^{N_c} \mu_{X,i}^{\frac{1}{\eta_k}} (X_{i,t})^{1-\frac{1}{\eta_k}} \right)^{\frac{\eta_k}{\eta_k-1}},$$

donde

$$X_{i,t} = \left( \sum_{k'=1}^{N_s} \mu_{X,i,k'}^{\frac{1}{\eta}} X_{i,t}^{k',1-\frac{1}{\eta}} \right)^{\frac{\eta}{\eta-1}}.$$

Todos los  $\omega$  se calibran con la matriz de I-P

# Fricciones nominales: costos de ajustes

Las empresas se enfrentan a costos convexos al ajustar su capital, su nivel de empleo y el precio nominal de su producto.

Los costos de ajuste de capital son proporcionales al stock de capital actual y toman la forma cuadrática

$$\Phi_{X,t}^{k,j} = \frac{\psi_X}{2} \left( \frac{X_t^{k,j}}{K_t^{k,j}} - \delta \right)^2 K_t^{k,j}, \psi_X > 0,$$

Del mismo modo, el costo real por unidad de cambiar nivel de empleo y el precio nominal están dadas por:

$$\Phi_{L,t}^{k,j} = \frac{\psi_L^k}{2} \left( \frac{n_t^{k,j}}{n_{t-1}^{k,j}} - 1 \right)^2, \psi_L^k > 0,$$

Y

$$\Phi_{P,t}^{k,j} = \frac{\psi_P^k}{2} \left( \frac{P_{k,j,t}}{\pi_{SS} P_{k,j,t-1}} - 1 \right)^2, \psi_P^k > 0,$$

# El problema de la empresa

$$\max_{\{y_t^{k,j}, n_t^{k,j}, K_{t+1}^{k,j}, Z_t^{k,j}, X_t^{k,j}, P_t^{k,j}\}} E_\tau \sum_{t=\tau}^{\infty} \beta^{t-\tau} \left( \frac{\Lambda_\tau}{\Lambda_t} \right) \left( \frac{d_t^{k,j}}{P_t} \right),$$

s.a.

$$K_{t+1}^{k,j} = (1 - \delta) K_t^{k,j} + X_t^{k,j},$$

$$y_t^{k,j} = \left( a_t^k n_t^{k,j} \right)^{\alpha_k} \left( K_t^{k,j} \right)^{\beta_k} \left( Z_t^{k,j} \right)^{1-\alpha_k-\beta_k}$$

$$y_t^{k,j} = c_t^{k,j} + \sum_{k'=1}^{N_S} \int_0^1 Z_{\hat{j},t}^{k',j'}(k,j) dj' + X_{\hat{j},t}^{k,j} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq \hat{i}}}^{N_C} e_{i,t}^{k,j}$$

donde  $\Lambda_t$  es la utilidad marginal de la riqueza de los consumidores.

Los beneficios nominales  $d_t^{k,j}$  están definidos por:

$$d_t^{k,j} = P_t^{k,j} y_t^{k,j} - w_t^{k,j} n_t^{k,j} - P_{X,t} X_t^{k,j} - P_{Z,t}^k Z_t^{k,j} - \Phi_{X,t}^{k,j} P_{X,t} - \Phi_{L,t}^{k,j} P_t^k y_t^k - \Phi_{P,t}^{k,j} P_t^k y_t^k + T_t^k.$$



NACIONES UNIDAS

CEPAL

# Consumo final

El consumidor representativo maximiza:

$$E_{\tau} \sum_{t=\tau}^{\infty} \beta^{t-\tau} \left( \ln(C_t) + v_t^m \ln\left(\frac{M_t}{P_t}\right) + v_t^N \ln(1 - N_t) \right)$$

donde  $v_t$  y  $\eta_t$  son choques de preferencia,  $C_t$  es consumo,  $M_t$  es el stock de dinero nominal,  $N_t$  son horas trabajadas y la dotación de tiempo se ha normalizado a 1.

El consumo es un agregado de todos los bienes disponibles:

$$C_t = \left( \sum_{i=1}^{N_c} \omega_{c,i}^{\frac{1}{\eta_c}} (\hat{C}_{i,t})^{1-\frac{1}{\eta_c}} \right)^{\frac{\eta_c}{\eta_c-1}},$$

donde

$$\hat{C}_{i,t} = \left( \sum_{k'=1}^{N_s} \hat{\omega}_{c,i,k'}^{\eta_{cH}} C_{i,t}^{k'} \right)^{\frac{\eta_{cH}}{\eta_{cH}-1}}$$

Consumo total del país  $i$

# Horas trabajadas

Las horas trabajadas son un agregado de las horas suministradas a cada empresa en cada sector:

$$N_t = \left( \sum_{i=1}^{N_s} (n_t^i)^{\frac{\xi+1}{\xi}} \right)^{\frac{\xi}{\xi+1}}, \xi > 0$$

$n_t^i$ , es el número de horas trabajadas en el sector  $i \in \{1, \dots, N_s\}$ .

1. Introduce una **movilidad laboral limitada entre sectores** y, en consecuencia, heterogeneidad en salarios y horas, preservando al mismo tiempo la configuración de agente representante.
2. La mano de obra es **perfectamente móvil** dentro de los sectores.
  - Los salarios y las horas en las empresas del mismo sector serán los mismos.
  - Nos permite centrarnos en un equilibrio que es simétrico dentro de los sectores, pero aún asimétrico en todos los sectores.

# Restricción presupuestaria de los consumidores

GASTO

INGRESOS

$$(1 + \tau_c)C_t + b_t + m_t + \sum_{k=1}^{N_s} \int_0^1 \left( \frac{a_t^{j,k} s_t^{j,k}}{P_t} \right) dj = \sum_{k=1}^{N_s} \int_0^1 \left( \frac{w_t^{j,k} n_t^{j,k}}{P_t} \right) dj + \frac{R_{t-1} b_{t-1}}{\pi_t} + \frac{m_{t-1}}{\pi_t} + \sum_{k=1}^{N_s} \int_0^1 \left( \frac{(d_t^{j,k} + a_t^{j,k}) s_{t-1}^{j,k}}{P_t} \right) dj + \frac{\Gamma_t}{P_t}$$

Donde:

- ✓  $b_t = B_t/P_t$  es el valor real de las tenencias nominales de bonos,
- ✓  $m_t = M_t/P_t$  son los saldos de dinero real,
- ✓  $R_t$  es la tasa de interés nominal bruta de los bonos que vencen en el periodo  $t + 1$ ;
- ✓  $\Gamma_t$  es una transferencia de suma fija del gobierno, y
- ✓  $a_t^{j,k}$  y  $d_t^{j,k}$  son, respectivamente, el precio de una acción y el dividendo pagado por el fondo mutuo  $j, k$ .

# Sector exportador

---

Existe un sector exportador que compra un bien homogéneo final en el mercado doméstico y lo vende al resto del mundo.

La demanda para el bien exportado al país  $i$  está dada por:

$$e_{i,t} = \left( \frac{P_{i,t}^e}{s_t P_{i,t}^*} \right)^{-\eta_{Y^*}} Y_{i,t}^*$$

Donde:

- $\eta_{Y^*}$  es la elasticidad de sustitución entre los bienes domésticos y foráneos en la economía externa,
- $e_{i,t}$  es el bien homogéneo exportado,
- $P_{i,t}^e$  es el índice de precios del bien exportado,
- $Y_{i,t}^*$  es la producción del país  $i$  y  $P_{i,t}^*$  es el índice de precios del país  $i$ .

# Bien homogéneo exportado

- El bien homogéneo exportado,  $e_{i,t}$ , está compuesto por las cantidades de cada bien doméstico  $k'$  que se destinan para la exportación,  $e_{i,t}^{k'}$ , y se define por:

$$e_{i,t} = \left( \sum_{k'=1}^{N_s} \omega_{e,i,k'}^{\frac{1}{\eta_e}} e_{i,t}^{k' \cdot 1 - \frac{1}{\eta_e}} \right)^{\frac{\eta_e}{\eta_e - 1}}$$

$e_{i,t}^{k'}$ : exportación del sector  $k' \in \{1, \dots, N_s\}$  al país  $i \in \{1, \dots, N_c\}$ .

# Política fiscal

El gobierno combina autoridades fiscales y monetarias. La política fiscal consiste en transferencias de suma fija a los consumidores cada período, que se financian mediante la impresión de dinero adicional y recolección de impuestos.

La restricción presupuestaria del gobierno es

$$\frac{\Gamma_t}{P_t} + \sum_{k'=1}^{N_s} T_t^{k'} = m_t - \frac{m_{t-1}}{\pi_t} + Tax_t,$$

Donde

$$Tax_t = \sum_{k'=1}^{N_s} \tau_{k'} y_t^{k'} + \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{k'=1}^{N_s} \tau_{k',i} P_t^{k',i} (\tilde{Z}_{i,t}^k(k') + \tilde{X}_{i,t}^k(k')) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq \hat{j}}}^{N_c} \sum_{k'=1}^{N_s} \tau_{k',i} P_t^{k',i} C_{i,t}^{k'} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq \hat{j}}}^{N_c} \sum_{k'=1}^{N_s} \tau_{e,k'} P_t^{k',i} e_{i,t}^{k'} + \tau_c P_t C_t,$$

Y

$$T_t^k = \gamma_k \left( m_t - \frac{m_{t-1}}{\pi_t} + Tax_t - \frac{\Gamma_t}{P_t} \right), \gamma_k \in (0,1) \text{ y } \sum_{k'=1}^{N_s} \gamma_{k'} = 1.$$

# Política monetaria

---

El dinero es ofertado por el gobierno de acuerdo con la regla

$$M_t = \mu_t^m M_{t-1};$$

donde  $\mu_t^m$  es la tasa estocástica de crecimiento del dinero, que sigue el proceso

$$\ln(\mu_t^m) = (1 - \rho_\mu) \ln(\mu_{SS}^m) + \rho_\mu \ln(\mu_{t-1}^m) + \epsilon_t^{\mu^m},$$

$\rho_\mu \in (-1, 1)$ ;  $\ln(\mu_{SS}^m)$  es la media incondicional y la innovación  $\epsilon_t^{\mu^m}$  se distribuye de forma idéntica e independiente (i:i:d:) con media cero y varianza  $\sigma_{\mu^m}^2$ .

# Calibración

---

- Se utilizan los datos de la matriz de insumo Producto agregada para los 20 sectores construida por el Proyecto Insumo Producto de CEPAL: “Matrices Globales de Insumo-Producto: Herramientas Para Facilitar El Estudio de La Integración de América Latina Con El Mundo”, para el 2017.
- Por construcción, la tabla de I-O de nuestro modelo es igual a la de la economía seleccionada.
- Se usan datos del PWT y algunos valores estimados del modelo Bouakez et al., (2014) para los parámetros de rigideces y algunos que determinan la dinámica del modelo.
- Estos parámetros deben ser estimados con datos trimestrales para obtener unos resultados más ajustados al país.

# Socios comerciales y sectores de modelo DSGE (11x35)

iso	Country
ARG	Argentina
BRA	Brasil
CHL	Chile
PRC	China
COL	Colombia
ECU	Ecuador
MEX	México
ROW	Resto del Mundo
RUS	Rusia
UE	UE
USA	Estados Unidos

# Países y sectores de modelo DSGE (11x35)

COD_SECTOR	SECTORES
1	Agriculture, hunting, forestry, and fishing
2	Mining and quarrying
3	Food, beverages, and tobacco
4	Textiles and textile products
5	Leather, leather products, and footwear
6	Wood and products of wood and cork
7	Pulp, paper, paper products, printing, and publishing
8	Coke, refined petroleum, and nuclear fuel
9	Chemicals and chemical products
10	Rubber and plastics
11	Other nonmetallic minerals
12	Basic metals
13	Fabricated metals
14	Machinery, nec
15	Computer, electronic, and optical equipment
16	Electrical machinery and apparatus, nec.
17	Motor vehicles
18	Other transport equipment
19	Manufacturing, nec; recycling
20	Electricity, gas, and water supply

COD_SECTOR	SECTORES
20	Electricity, gas, and water supply
21	Construction
22	Sale, maintenance, and repair of motor vehicles and motorcycles; retail sale of fuel
23	Wholesale trade and commission trade, except of motor vehicles and motorcycles
24	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles; repair of household goods
25	Hotels and restaurants
26	Inland transport
27	Water transport
28	Air transport
29	Other supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies
30	Post and telecommunications
31	Financial intermediation
32	Real estate activities
33	Renting of M&Eq and other business activities
34	Public administration and defense; compulsory social security
35	Otros servicios

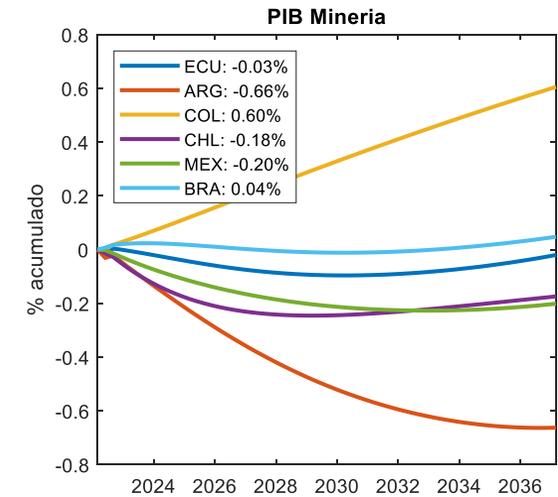
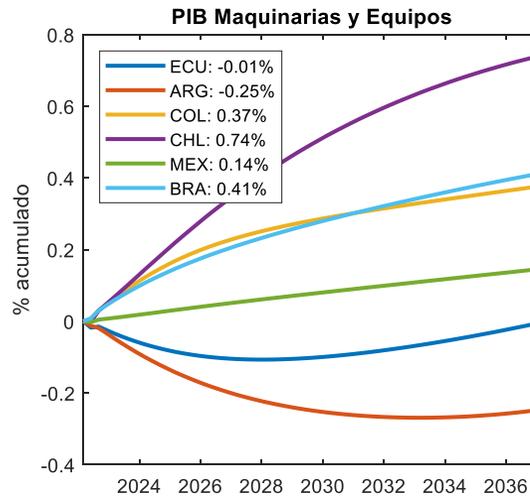
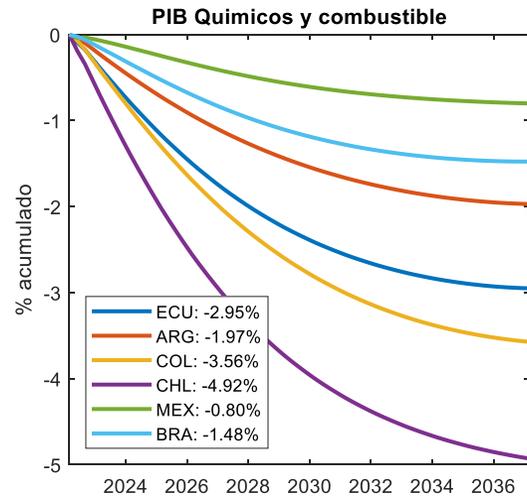
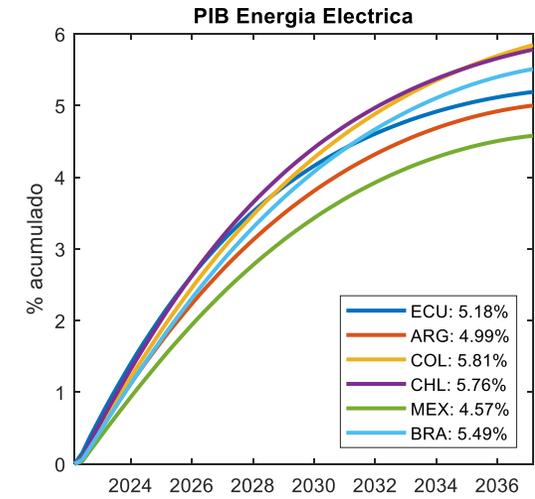
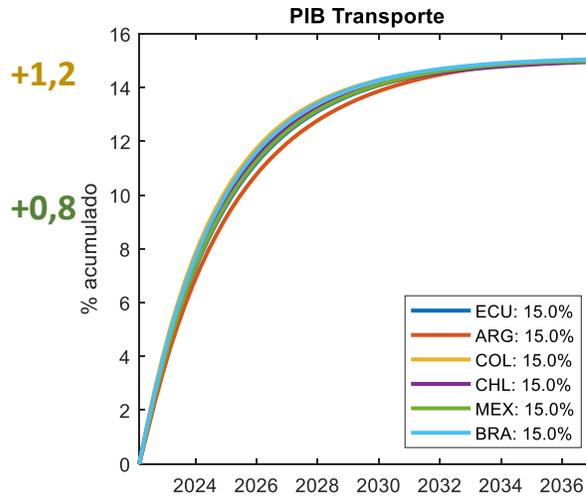
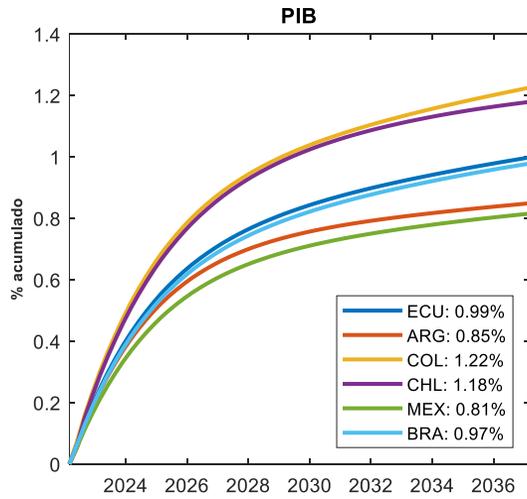
# Evaluación de impacto (Modelo DSGE)

# Ejercicio a partir del modelo DSGE

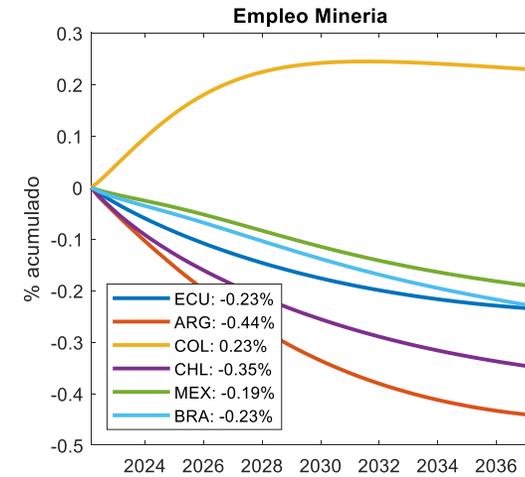
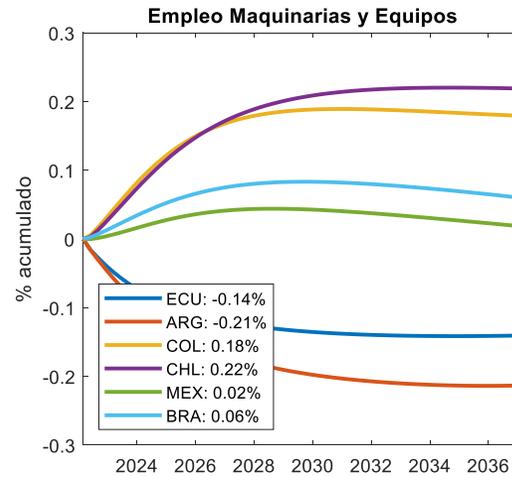
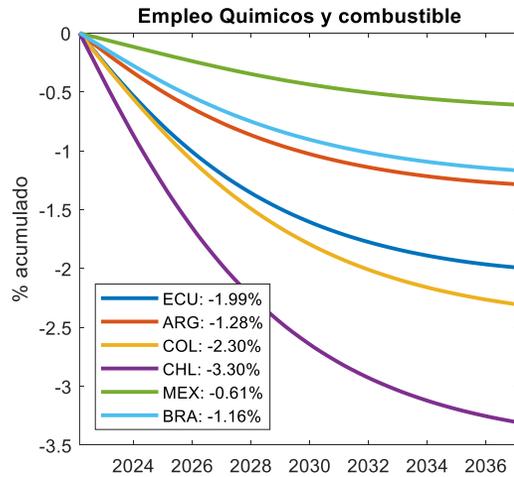
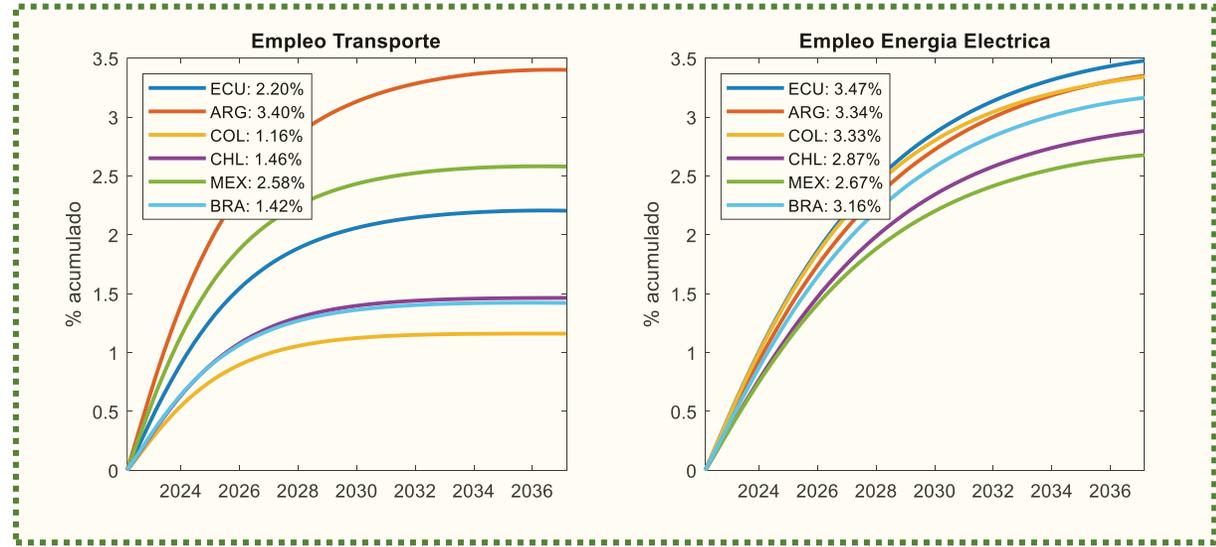
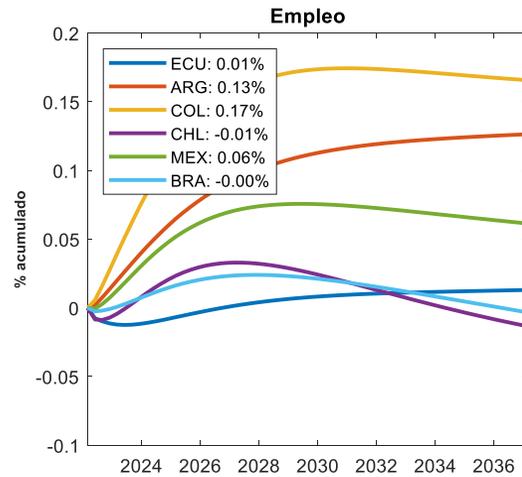
---

- Se simula aumentos de la productividad en el sector transporte, derivados por alzas de productividad equivalentes a 15% (escenario optimista) entre 2022 y 2037. **(Mayor al tamaño del sector de transportes público)**
- Se evalúa el impacto en:
  - ✓ Producción
  - ✓ Cambios en empleo
  - ✓ Se recogen los impactos sobre la producción e importaciones en sectores relevantes: derivados de petróleo; maquinarias y equipo eléctrico; electricidad y gas, y transporte carretero.
- Países objetivo del ejercicio: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, y México.

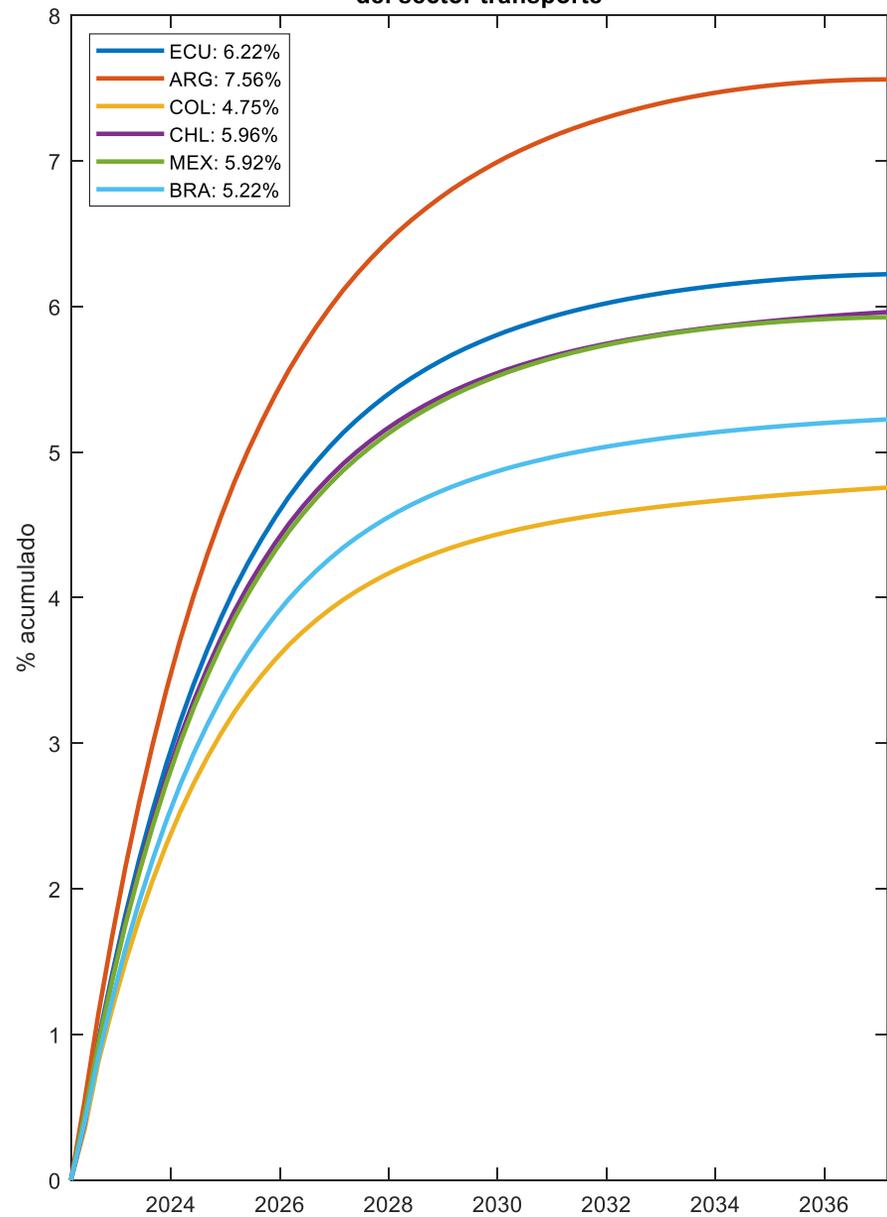
# Las magnitudes del PIB suben cuando el shock de PTF es alto, expanden el PIB energético, y reducen mucho más la dependencia de combustibles en todos los países considerados



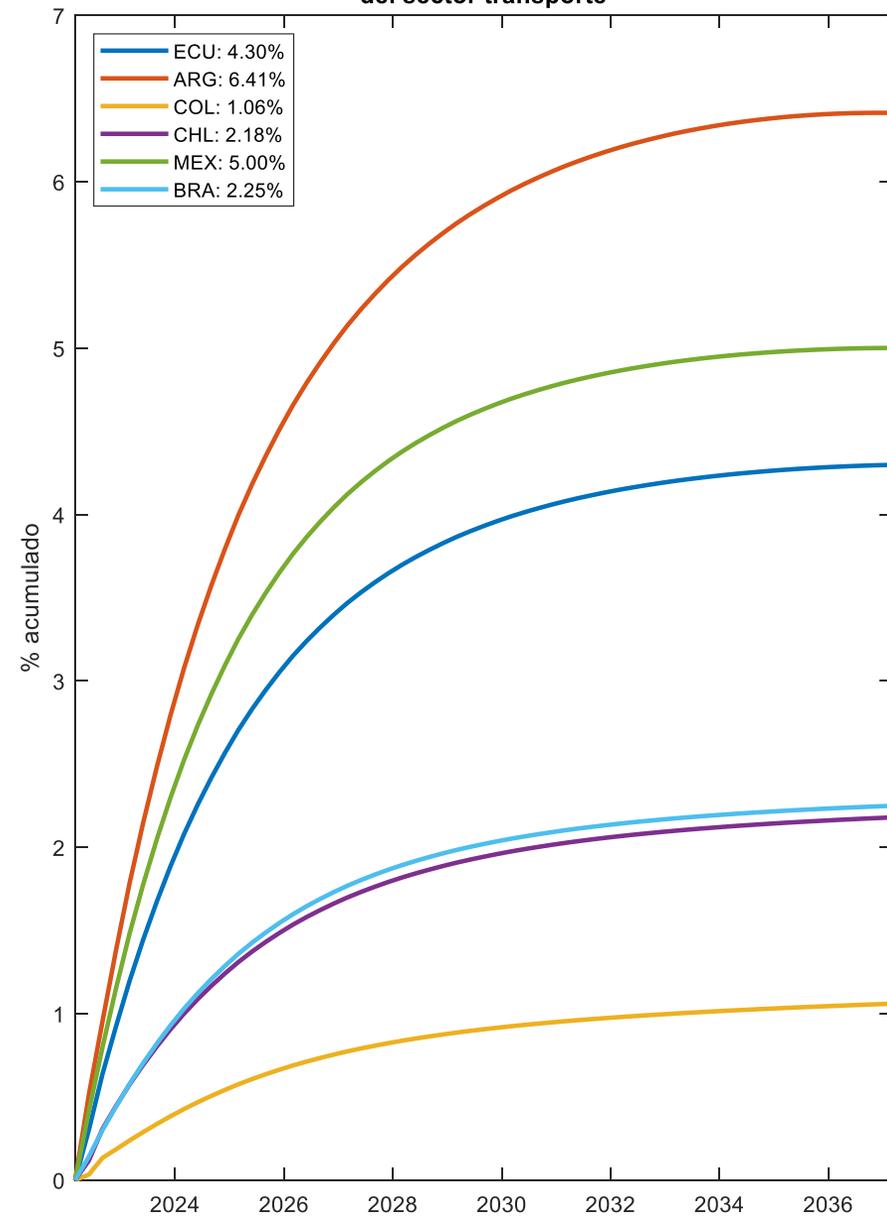
Con un choque más alto, el impacto en empleo también aumenta en todos los sectores, y deja de ser marginal, siendo más alto en los sectores de interés (transporte y energía)



**Insumos intermedios domesticos  
del sector transporte**



**Insumos intermedios importados  
del sector transporte**



# Conclusiones

---

- Se presenta un modelo **DSGE**, con varias fricciones y choques, que incorporar una **desagregación sectorial**, basada en las relaciones insumo-producto y sus interacciones desagregadas con el resto del mundo al estilo de los computables.
- Simulaciones de aumentos de PTF y sustitución de combustibles fósiles por energía en el transportes público arrojó
  - Impacto positivo en el PIB y el empleo total, aunque cambios leves a este nivel;
  - Aumentos significativos se producen en transporte y energía
  - Estimulo de las relaciones intrarregionales.



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



UNIVERSIDAD  
SERGIO ARBOLEDA

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

¡Muchas Gracias!

Síguenos en:



<https://www.cepal.org/es>



[https://twitter.com/cepal\\_onu](https://twitter.com/cepal_onu)



[https://www.facebook.com/cepal\\_onu](https://www.facebook.com/cepal_onu)



<https://www.youtube.com/user/CEPALONU>



<https://www.flickr.com/photos/cepal>

