

Taller sobre Aplicaciones de la matriz insumo-producto multirregional de Colombia (MRIO-IRIO)

José Durán Lima
Jaime Vallecilla

Unidad de Integración Regional, DCII
CEPAL, Naciones Unidas



CEPAL



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

Bogotá, 27 y 28 de mayo de 2024

Contenidos

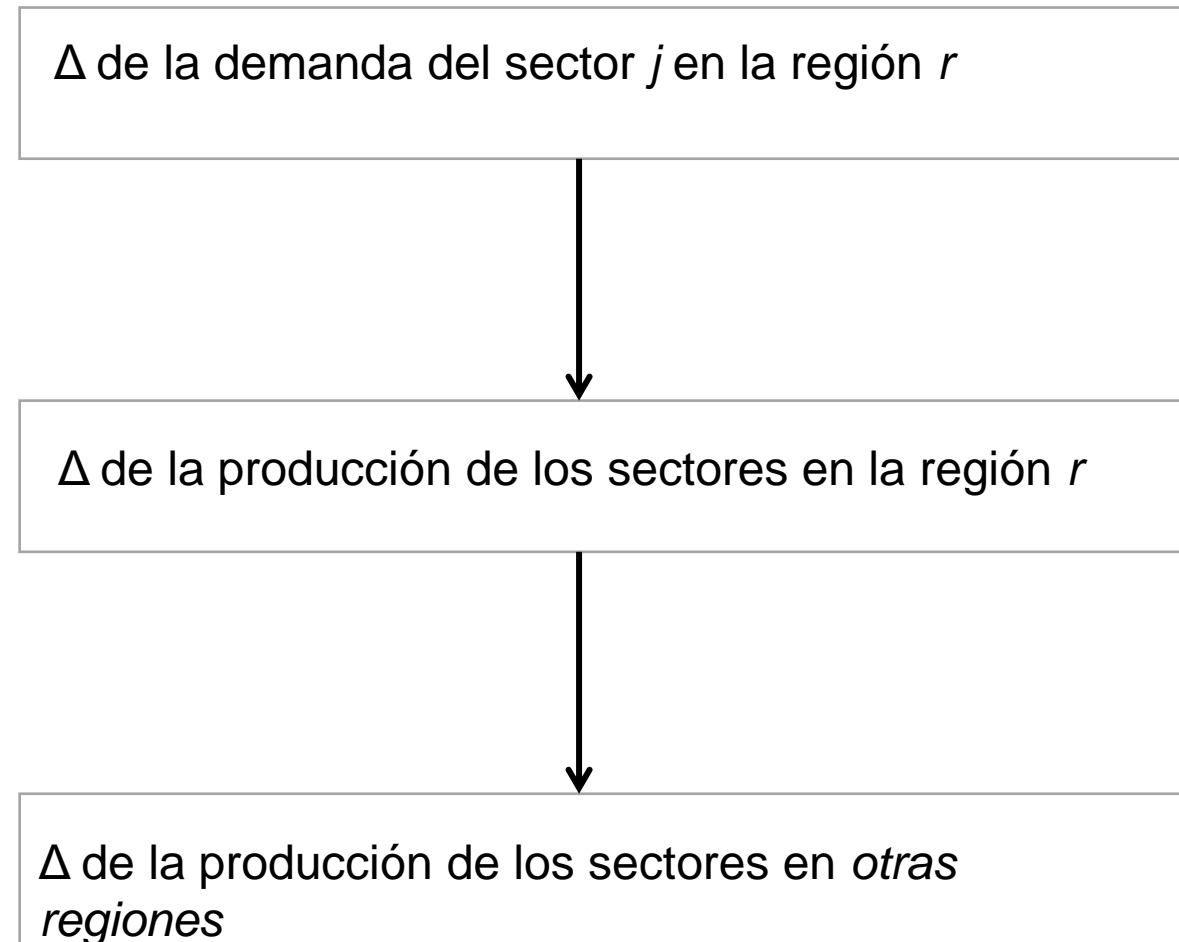
- Objetivos
- Utilización del modelo insumo producto y extensiones
- **La matriz multirregional de Colombia (MR9).**
- Ejercicios prácticos

1. Antecedentes en Colombia: matrices nacionales y regionales
2. Desagregación territorial; sectorización y principales fuentes de información
3. Simulaciones de impacto regional

Matrices regionales y multirregionales

- Una limitación de las tablas o matrices regionales o *single region*, consiste en su imposibilidad de identificar cada una de las regiones de donde provienen o hacia donde se dirigen los flujos interregionales (salidas y entradas de B y S *dentro* de un país)
- Esto tiene una implicación importante: la suma de los efectos de la nueva demanda final de una región es mayor que la generada en dicha región (Miller and Blair 2009). (Diagrama siguiente)

Esquema del efecto de repercusión interregional



Matrices regionales y multirregionales

Una de las principales dificultades de estos modelos reside en la necesidad de conocer los flujos entre regiones, para lo cual existen dos enfoques dependiendo de si se dispone de un conjunto completo de datos intrarregionales e interregionales o de si –como es lo más frecuente- no se conocen y es necesario estimarlos.

El primero se conoce como Intrarregional Input-Output (IRIO) y el segundo como Multiregional Input-Output (MRIO). Son diferentes y su estructura matricial también (diagramas siguientes).

Esquema de la matriz IRIO ensamblada (A)

Esquema IRIO 9 ensamblada

Región	Región Sector	DI									DF			Total demanda
		ANT	ATL	BOG	BOL	CUN	MET	SAN	VALL	RRP	Ew	C	I	
		1 2...30										ANT...RRP	ANT...RRP	
ANT	1													
	2													
	3													
	...													
	30													
ATL	1													
	2													
	3													
	...													
	30													
...	1													
	2													
	3													
	...													
	30													
RRP	1													
	2													
	3													
	...													
	30													
CI														
Producción														
VAB														
Mw														

Esquema de la matriz IRIO ensamblada (B)

Esquema MRIO 9 ensamblada

Región	Región Sector	DI				DF	TD
		ANT	ATL	...	RRP		
ANT	1	2...,30					
	2						
	3						
	...						
	30						
ATL	1						
	2						
	3						
	...						
	30						
...	1						
	2						
	3						
	...						
	30						
RRP	1						
	2						
	3						
	...						
	30						
CI							
Producción							
VAB							
Mw							

El modelo MRIO

1. Se estiman los coeficientes técnicos regionales
2. Se elabora una matriz origen-destino de los flujos de bienes y servicios interregionales a partir de información disponible, sin importar el sector de destino en la región receptora; es decir, sin diferenciar entre bienes y servicios intermedios o de demanda final
3. En el tercer paso se construyen las matrices diagonales de flujos *interregionales* \hat{c}^{rs} e *intrarregionales* \hat{c}^{ss}
4. Finalmente, en el cuarto paso el modelo se agrupan las siguientes matrices y vectores, tomando como ejemplo un modelo de dos sectores – dos regiones.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^r & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}^s \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \hat{c}^{rr} & \hat{c}^{rs} \\ \hat{c}^{sr} & \hat{c}^{ss} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x^r \\ x^s \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f^r \\ f^s \end{bmatrix}$$

Matriz de Leontief (L) en el modelo MRIO

Las expresiones correspondientes al vector de la nueva producción x del modelo MRIO son:

$$(I - CA)x = Cf$$

$$x = (I - CA)^{-1}Cf$$

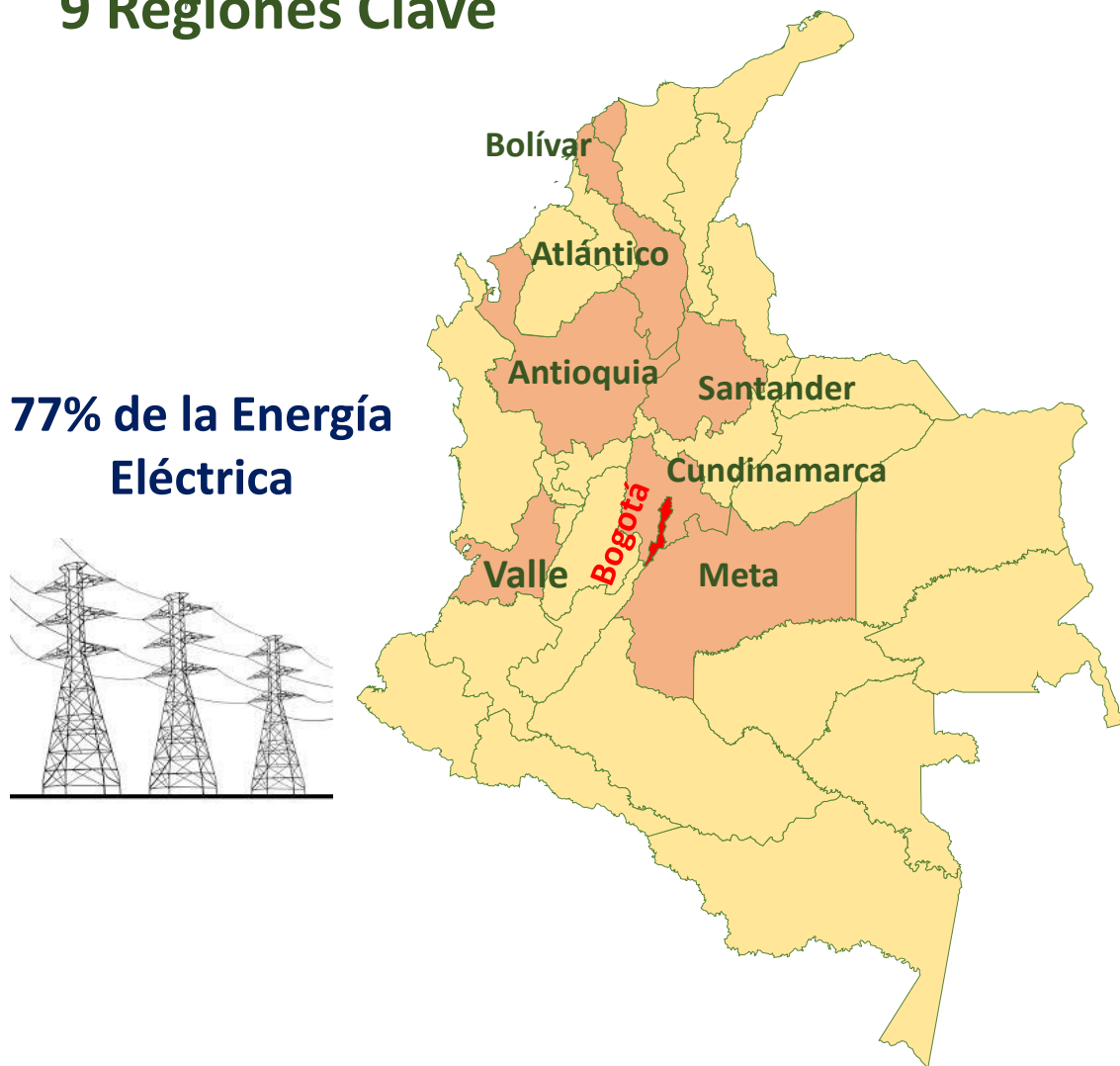
Nacional	MRIO
$x = (I - A)^{-1}f$	$x = (I - CA^{-1})Cf$
	$x = (I - CA^{-1})f *$

Herramienta desarrollada: Una matriz de insumo producto (MIP) para Bogotá y 7 regiones de Colombia

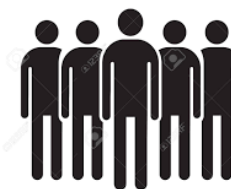
- **Una MIP es una poderosa herramienta para el análisis económico**
 - ✓ **Recoge la estructura económica de las regiones**
 - ✓ **Permite identificar los vínculos intra e interindustriales**
 - ✓ **Materia prima de modelos económicos de evaluación de impacto.**

La Matriz construida tiene una alta representatividad

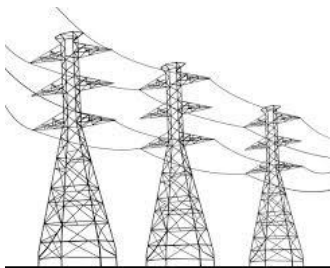
9 Regiones Clave



60% Población



77% de la Energía Eléctrica



77% Carga



86% Comercio Exterior



90% Pasajeros



Agregación de sectores (30) de la matriz insumo-producto interregional (MRIO) de Colombia

	1	Agropecuario				
	2	Silvicultura y pesca				
Por Sustituir	3	Petróleo crudo y gas				
	4	Resto de minería				
	5	Elaboración alimentos, bebidas y tabaco				
	6	Textiles, confecciones cuero y calzado				
Por Sustituir	7	Madera, papel y cartón y actividades de impresión				
	8	Refinación de petróleo				
	9	Químicos, farmacéuticos, caucho y plástico				
Vinculos Productivos	10	Fabricación de productos minerales no metálicos				
	11	Productos metalúrgicos básicos, productos metálicos, M&E, equipo eléctrico, informático y repa				
	12	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques				
	13	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte				
Energía limpia	14	Fabricación de muebles, colchones y somieres; otras industrias manufactureras				
	15	Electricidad y gas				
	16	Agua, evacuación de aguas residuales y saneamiento ambiental				
Infraestructura	17	Construcción de edificaciones residenciales y no residenciales				
	18	Obras civiles y actividades especializadas en construcción				
	19	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas				
Sectores centrales de Transición.	20	Transporte urbano público pasajeros (buses) mci				
	21	Transporte urbano público pasajeros (buses) EV				
	22	Transporte interurbano urbano público pasajeros mci				
	23	Demás transporte público (carga terrestre, tuberías, etc.)				
	24	Transporte aéreo y acuático				
	25	Almacenamiento				
	26	Alojamiento y servicios de comida				
	27	Información y comunicaciones				
Finanzas	28	Actividades financieras y de seguros y actividades inmobiliarias				
	29	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria				
	30	Demás servicios				

Once sectores vinculados directamente con la transición a la electromovilidad **(generan 25% del PIB)**



Sesión 3

El PIB *per capita* de las nueve regiones en 2021 muestra diferencias de más del 100% entre los más elevados y los más bajos. En el resto de las regiones (Casanare es el más elevado del país) la diferencia entre extremos es mayor. Una estimación del ingreso daría un valor más elevado en Bogotá y menor en Casanare

8 regiones

Detalle	PIB per capita (\$)
Bogotá D.C.	38,072,721
Meta	36,794,616
Santander	32,094,637
Antioquia	26,015,246
Valle del Cauca	25,207,339
Cundinamarca	21,493,669
Atlántico	18,876,919
Bolívar	18,841,684

RRP

Detalle	PIB per capita (\$)
Casanare	39,240,094
San Andrés, Prov	27,235,955
Boyacá	24,609,560
Arauca	20,944,190
.	.
.	.
Vichada	6,764,001

Fuente: DANE

Colombia: 23,060,457

Características principales - Fuentes

Fuente	Datos
DANE	EAM matrices productos y materias primas Bogotá + departamentos; solicitada por el consultor EAM archivo completo PIB subnacional 25 actividades; solicitada por el consultor COU Cuentas Nacionales solicitada por CEPAL y no publicada
DIAN	SIEX - Exportaciones e importaciones (nivel en subpartida arancelaria)
Ministerio de Transporte -RNDC	Registro Nacional del Despacho de Carga Matriz O-D carga por carretera municipios y departamentos
Aerocivil Ministerio de Minas ANH SUI DANE OECD INEGI	Matriz O-D pasajeros salidos y entrados Generación de energía según fuente y departamento Producción de petróleo y gas, red de oleoductos Consumo de energía eléctrica Transporte terrestre y alojamiento –Cuenta satélite de turismo ICIO Table 2018: 67 countries, 45 sectors COU utilización 834 productos

Fuente: Elaboración propia

Características principales MRIO 9 Colombia-PIB pc regiones

- El PIB per capita de las nueve regiones en 2021 muestra diferencias de más del 100% entre los más elevados y los más bajos. En el resto de las regiones (Casanare es el más elevado del país) la diferencia entre extremos es mayor. Una estimación del ingreso daría un valor más elevado en Bogotá y menor en Casanare

8 regiones

Detalle	PIB per capita (\$)
Bogotá D.C.	38,072,721
Meta	36,794,616
Santander	32,094,637
Antioquia	26,015,246
Valle del Cauca	25,207,339
Cundinamarca	21,493,669
Atlántico	18,876,919
Bolívar	18,841,684

RRP

Detalle	PIB per capita (\$)
Casanare	39,240,094
San Andrés, Prov	27,235,955
Boyacá	24,609,560
Arauca	20,944,190
.	.
.	.
Vichada	6,764,001

Fuente: DANE

Colombia: 23,060,457

Estimación del empleo asociado con la demanda final

1. Estimación del empleo asociado con la demanda final
2. Simulaciones de cambios en la demanda final

¿Qué contiene la demanda final?

Cuando una empresa realiza una actividad productiva, ya sea de un bien intermedio o final, el valor producido tiene incorporado en su proceso productivo varios elementos :

1. El empleo necesario para producir el producto consumido internamente o exportado.
2. Las importaciones de bienes intermedios utilizadas en el proceso de producción
3. El valor agregado incorporado en el proceso de producción.

Empleo requerido en la producción

- Cada sector, tiene un requerimiento dado de empleo, para cada año, para producir una cantidad específica de VBP.
- El destino final del VBP, ya sea para demanda intermedia o final, *particiona* el empleo total para dicho uso final del VBP
- Para realizar dichos calculo, necesitamos calcular la matriz de requerimientos directos e indirectos de empleo

Coeficiente de empleo

- Para un país, se calcula primero el coeficiente de trabajo o intensidad del trabajo (CE):

$$CE = N^* x^{-1} = \left[\frac{N_1^*}{x_1} \quad \dots \quad \frac{N_N^*}{x_N} \right]$$

- Siendo N_N^* el factor trabajo del sector N , y x_N el Valor Bruto de Producción del sector N . La lectura de cada elemento del vector $N \times 1$ informa sobre el número de trabajadores por unidad de output total en cada sector.
- A partir de aquí obtendríamos el multiplicador de empleo.

Vector de Empleo

- Fuentes:
 1. Institutos Nacionales de Estadística,
 2. Bancos Centrales,
 3. Encuestas de Hogares
 4. Censo Económico
- Se mapea por país y sector, obteniendo un vector de número de empleados $N^* = KN \times 1$

Siendo K el número de países y N el número de sectores.

 [Auxiliar empleo Bogota \(2018\).xlsx](#) 

Vector de Empleo

- Encuestas de hogares :

Se utilizan las encuestas de hogares para aperturar los vectores de empleo de las cuentas nacionales

Se puede aperturar por : genero, calificación, etc

Previamente, se realiza una comparación de estructuras entre ambos vectores de empleo para asegurar su similitud

Multiplicador de empleo

- El multiplicador de empleo (MCE):

$$MCE = \widehat{CE}(I - A)^{-1}$$

- En una economía de dos sectores:

$$MCE = \begin{pmatrix} CE_1 l_{11} & CE_1 l_{12} \\ CE_2 l_{21} & CE_2 l_{22} \end{pmatrix}$$

- Por filas se observa la cantidad de trabajadores del sector i que directa o indirectamente son requeridos por dicho sector y el resto de sectores de una economía, para producir una unidad de producto que satisfaga la demanda final. Por columnas se aprecia el trabajo requerido en un sector i , procedente de toda la economía de un país.



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Empleo vinculado con la Demanda Final (A)

- Al pre-multiplicar nuestro multiplicador de empleo por la demanda final, se obtiene el empleo directo e indirecto relacionado con la misma.
- En forma matricial (dos sectores): $\text{Empleo df} = \widehat{CE}(I - A)^{-1}\widehat{df}$
- La MIP permite distinguir la DF de los hogares o el gobierno, o de las exportaciones.

$$\text{Empleo exportador} = \begin{pmatrix} CE_1 l_{11} e_1 & CE_1 l_{12} e_2 \\ CE_2 l_{21} e_1 & CE_2 l_{22} e_2 \end{pmatrix}$$

Empleo vinculado con la Demanda Final (B)

$$\text{Empleo } df = \widehat{CE}(I - A)^{-1}\widehat{df}$$

El vector df de exportaciones puede satisfacer distintos tipos de requerimientos de investigación :

- La demanda final de consumo de los hogares, consumo de gobierno, inversiones de capital, y exportaciones.
- Las exportaciones de bienes totales a un país o región determinado
- Las exportaciones de bienes intermedios

Empleo vinculado con la Demanda Final (C)

- Mientras que la diagonal principal nos muestra el empleo directo (en ese sector) asociado a la Demanda Final, el resto de la suma de las columnas nos muestra el empleo total (Directo e Indirecto)
- A partir del empleo indirecto es posible calcular el empleo indirecto (generado en otros sectores por la demanda de bienes intermedios)

Empleo vinculado con la Demanda Final (C)

- A partir del empleo DF calculado por sector, podemos calcular el siguiente ratio :

$$REI = \frac{\textit{Empleo indirecto}_j}{\textit{Empleo directo}_j}$$

- El ratio mayor a uno indica que las exportaciones del sector j tienen asociado mayor empleo generado en otros sectores que en el propio

Ejercicio 3

- A partir del archivo [Ejercicio 3 CALCULO DE EMPLEO DF BOGOTA.xlsx](#), y del archivo auxiliar de empleo entregado calcular:

1) El vector de Coeficientes de empleo por genero; $CE = \left(\frac{N}{X_1}\right)$

2) Matriz de Coeficientes de empleo total y por genero diagonalizadas; \widehat{CE}

3) Calcular la matriz de multiplicadores de empleo $\widehat{CE}(I - A)^{-1}$

4) Calcular el empleo vinculado con la DF de Bogotá $\text{Empleo } df = \widehat{CE}(I - A)^{-1}\widehat{df}$

5) Calcular ratio empleo indirecto a directo. $REI = \frac{\text{Empleo indirecto}_j}{\text{Empleo directo}_j}$

Simulaciones de cambios en la demanda final

- Una vez comprobada que la matriz de Leontief reproduce el Valor Bruto de la Producción a nivel de cada una de las industrias del modelo, es posible realizar Simulaciones de impacto de aumento de la demanda final de uno o más sectores.
- El modelo, a partir de los multiplicadores obtenidos, permitirá obtener los cambios inducidos a nivel de un sector en particular (efectos directos).
- Asimismo, el modelo permitirá encontrar los efectos indirectos consistentes en los impulsos sobre el resto de la economía.
- La suma de todos los sectores, permite analizar los efectos sobre toda la economía.

Aplicaciones del Modelo de Leontief (Equilibrio Parcial)

- El PIB queda reflejado directamente en la matriz Inversa de Leontief
- El Producto calcularse también de la siguiente forma:

$$x = (I - A)^{-1} y$$

Donde:

x = Producto; y = demanda final

A partir del modelo insumo producto se puede calcular el aumento de la producción que resultaría del aumento de la demanda final de un sector económico

$$\Delta x = (I - A)^{-1} \Delta y$$

$$x' = x + \Delta x$$

Intuición detrás de las simulaciones realizadas

- Ante cambios en la demanda final de un sector particular, se estiman los impactos que se generan en toda la economía, considerando las interacciones entre todos los sectores económicos, todos recogidos por la matriz de multiplicadores / Inversa de Leontief
- **Lógica de la inversa de Leontief:** Un aumento de la demanda final en un sector conlleva un aumento de la producción del mismo, así como una mayor demanda de insumos, lo que implica un aumento de la producción de otros sectores.
- Cuando la demanda final de un bien aumenta, la producción total de dicho sector debe aumentar en una proporción mayor, ya que debe satisfacer el incremento de la demanda final y cubrir, simultáneamente, el aumento de las demandas intermedias.



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Aplicación de la hoja de ruta de Bogotá. Flujos de inversión: 2023 - 2040

	MMCOP	USD
2023	\$2,416,931	\$604,232,675
2024	\$2,537,005	\$634,251,350
2025	\$2,609,085	\$652,271,250
2026	\$3,413,371	\$853,342,750
2027	\$3,452,373	\$863,093,250
2028	\$3,489,648	\$872,412,000
2029	\$4,024,986	\$1,006,246,500
2030	\$4,216,212	\$1,054,053,000
2031	\$4,246,598	\$1,061,649,500
2032	\$4,481,107	\$1,120,276,750
2033	\$4,521,487	\$1,130,371,750
2034	\$4,778,972	\$1,194,743,000
2035	\$4,885,442	\$1,221,360,500
2036	\$4,923,099	\$1,230,774,750
2037	\$5,028,903	\$1,257,225,750
2038	\$5,293,031	\$1,323,257,750
2039	\$5,293,785	\$1,323,446,250
2040	\$5,294,248	\$1,323,562,000
	\$74,906,283	\$454,405
		\$18,726,570,775

Fuente: Secretaria de Movilidad de Bogota

Aplicación de la hoja de ruta de Bogotá. Flujos de inversión por objetivos

PERIODO	OBJETIVO 1  Millones USD	OBJETIVO 2  Millones USD	OBJETIVO 3  Millones USD	OBJETIVO 4  Millones USD	TOTAL PERÍODO Millones USD
2023	USD 541	USD 0,02	USD 0,10	USD 0,02	USD 541
2024 - 2027	USD 2.705	USD 0,29	USD 0,75	USD 0,05	USD 2.706
2028 - 2031	USD 3.584	USD 0,28	USD 0,75	USD 0,05	USD 3.585
2032 - 2035	USD 4.193	USD 0,28	USD 0,57	USD 0,05	USD 4.194
2036 - 2039	USD 4.621	USD 0,28	USD 0,60	USD 0,05	USD 4.622
2040	USD 1.172	USD 0,07	USD 0,16	0	USD 1.172
TOTAL OBJETIVO	USD 16.816	USD 1,22	USD 2,93	USD 0,22	USD 16.821

*99% corresponde solo a TMSA (CAPEX y OPEX de renovación de SITP)

*Valor dólar USD = \$4436,2 COP (promedio Dic 31 2022 a Sept 15 2023)

Simulaciones realizadas (Bogotá)

1. Aumento de la demanda final del sector **Fabricación de automotores** (sector 12). Cambios observados entre 2018 y 2019, equivalentes a \$ 576 mil millones de pesos, aprox US\$ 140 millones.
2. Si el aumento de la demanda final del sector 12 fuera de US\$ 500 millones
3. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2027)
4. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2030)
5. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2040)

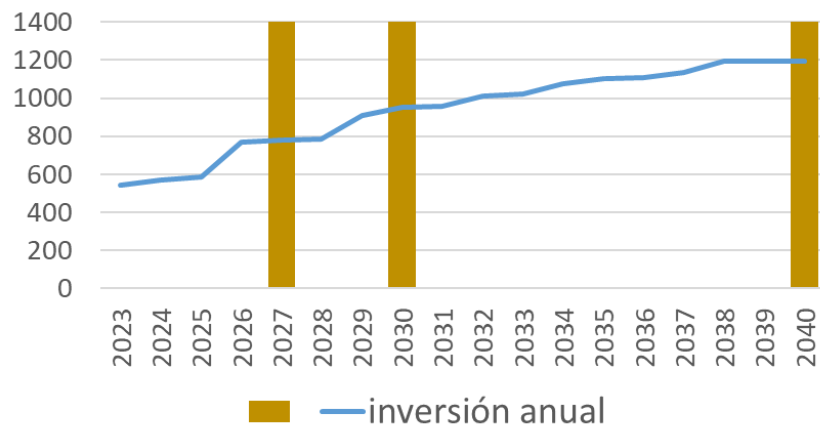
Simulaciones realizadas (Bogotá)

1. Aumento de la demanda final del sector **Fabricación de automotores** (sector 12). Cambios observados entre 2018 y 2019, equivalentes a \$ 576 mil millones de pesos, aprox US\$ 140 millones.
2. Si el aumento de la demanda final del sector 12 fuera de US\$ 500 millones
3. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2027)
4. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2030)
5. Aumentos de la demanda final de acuerdo a calendario de inversiones TMSA informados en CONPES D.C. 30 (Escenario a 2040)

Resultados Simulaciones EP

Cambios tras simulaciones consideradas. En millones de dólares y tasas de variación.

Escenarios Simulados	Tipo de escenario	Supuesto de Δ	Nivel de DF	Efectos sobre el sector	Efectos sobre el PIB total de Bogotá	Aumento inducido efecto indirecto
Línea base (2023)	Línea de base: Fab. Veh.		886			
Simulacion 1	Δ Inv. Fab. Veh.	140	1026	15.7	0.2	Δ 122 adicionales
Simulacion 2	Δ Inv. Fab. Veh.	500	1386	55.9	0.7	Δ 435 adicionales
Línea base (2023)	Línea de base: Transporte Publico CE		207			
Escenario 2027	Δ Inv. Flota	3 253	3 460	1357	3.4	Δ 1459 adicionales
Escenario 2030	Δ Inv. Flota	5 897	6 104	2318	5.8	Δ 2152 adicionales
Escenario 2040	Δ Inv. Flota	16 885	17 093	6625	16.6	Δ 6120 adicionales



Objetivo 1 CONPES 30
Promover la transición de los modos de transporte carreteros motorizados hacia tecnologías de cero y bajas emisiones

Ejercicio 4

- A partir del archivo [Ejercicio 3 CALCULO DE SIMULACIONES CAMBOI DE DEMANDA FINAL.xlsx](#), y del archivo auxiliar de inversiones COMPES 30 Plan de Acción:
 - 1) Llevar MIP de Bogotá de pesos a dólares americanos (TRM 2956.55)
 - 2) Preparar set-up para Simulaciones de Impacto: DF Lbase; VBP LBase; y VA LBase
 - 3) Evalué Simulaciones de cambio en la DF de sector de infraestructura Civil (+15%)
 - 4) Calcule Deltas y cambios porcentuales y analice los resultados
 - 4) Efectúe nuevas simulaciones considerando:
 - COMPES 30. Plan de acción para el primer quinquenio.
 - Intente derivar los efectos de la inversión en el Metro de Bogotá
 - Proponga un ejercicio original considerandos el aprendizaje del curso.

Ejercicio 5

- A partir del archivo [Ejercicio 3 CALCULO DE EMPLEO DF BOGOTA.xlsx](#), y del archivo auxiliar de empleo entregado calcular:

1) El vector de Coeficientes de empleo por genero; $CE = \left(\frac{N}{X_1}\right)$

2) Matriz de Coeficientes de empleo total y por genero diagonalizadas; \widehat{CE}

3) Calcular la matriz de multiplicadores de empleo $\widehat{CE}(I - A)^{-1}$

4) Calcular el empleo vinculado con la DF de Bogotá $\text{Empleo } df = \widehat{CE}(I - A)^{-1}\widehat{df}$

5) Calcular ratio empleo indirecto a directo. $REI = \frac{\text{Empleo indirecto}_j}{\text{Empleo directo}_j}$

Taller sobre Aplicaciones de la matriz insumo-producto multirregional de Colombia (MRIO-IRIO)

José Durán Lima
Jaime Vallecilla

Unidad de Integración Regional, DCII
CEPAL, Naciones Unidas



CEPAL



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

Bogotá, 27 y 28 de mayo de 2024