

Índice de Exposición Territorial Urbana de la Primera Línea del Metro de Bogotá (IETU-PLM)

*Dos instrumentos complementarios para el análisis de la seguridad del
empresariado MiPyme ante las obras de infraestructura: el IETU-PLM a nivel
territorial y el IIP a nivel de establecimiento*

Equipo USTA Power

Ximena Andrea Arias Contreras

Natalia González Rodríguez

Tutor: Carlos Isaac Zainea Maya

Facultad de Estadística

Universidad Santo Tomás

Primer Claustro Universitario de Colombia

Presentado a la

Cámara de Comercio de Bogotá

DataJam CCB 2026

Reto 2 — Seguridad y Obras Públicas

Bogotá D.C., April 13, 2026

1. Ficha de información

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del equipo | USTA Power |
| Universidad | Universidad Santo Tomás — Primer Claustro Universitario de Colombia |
| Integrantes | Ximena Andrea Arias Contreras Natalia González Rodríguez |
| Tutor(a) | Carlos Isaac Zainea Maya |
| Nombre de la propuesta | IETU-PLM: Índice de Exposición Territorial Urbana de la Primera Línea del Metro de Bogotá |
| Reto elegido | Reto 2 — Seguridad y Obras Públicas |
| Hipótesis principal | Las obras de la PLM se asocian con mayor deterioro percibido de la seguridad ($\rho = +0,243$, $p < 10^{-29}$) y mayor victimización efectiva ($\rho = +0,117$, $p < 10^{-7}$) en el empresariado MiPyme ($n = 2.105$). |
| Resumen del análisis | Se construyó el IETU-PLM, índice compuesto que mide la exposición de nueve localidades ante las obras del metro. Integra cinco componentes — delitos objetivos (SIEDCO), tejido empresarial (Registro Mercantil), movilidad de hogares (EFA), percepción de establecimientos CCB (EFA) y percepción ciudadana (EPV) — ponderados por entropía de Shannon. Bosa (0,780), Kennedy (0,730) y Teusaquillo (0,664) lideran el ranking. Se evidencia una asociación positiva entre la preocupación por las obras y el deterioro percibido de la seguridad (Spearman $\rho = +0,243$, $p < 10^{-28}$) y la victimización efectiva ($\rho = +0,117$, $p < 10^{-7}$), con $n = 2.105$. Se identifican dos tipos de inseguridad: entorno físico (Mártires) y delincuencia directa (Bosa, Kennedy), con recomendaciones diferenciadas. El instrumento es actualizable con nuevas encuestas a medida que avanzan las obras. |
| Bases de datos y variables | Enc. Movilidad 2024 (CCB, $n = 8.855$): modo de transporte, satisfacción con el entorno, cambio modal. Enc. Corredores PLM (CCB, $n = 1.202$): percepción de seguridad, impacto de obras en ventas, caracterización empresarial. Reg. Mercantil 2024–25 ($n = 186.033$): % microempresas, margen, ingresos. SIEDCO : tasa de delitos por 1.000 empresas activas. EPV 2024 (CCB, $n = 9.180$): victimización y percepción de seguridad barrial. |
| Software utilizado | Python 3.11 (pandas, numpy, scipy, scikit-learn, factor_analyzer, matplotlib) |
| Link del video | https://youtu.be/DrX3dJamt0?si=Eq0q5FKQuBdeqpvM |

Resumen

Se presenta el *Índice de Exposición Territorial Urbana de la Primera Línea del Metro* (IETU-PLM), instrumento cuantitativo que mide la exposición relativa de nueve localidades de Bogotá ante la disrupción generada por las obras de infraestructura de transporte público, con énfasis en la seguridad del empresariado MiPyme. El índice integra cinco componentes: (a) movilidad de hogares, construido mediante análisis factorial exploratorio (EFA) por bloques temáticos sobre la Encuesta de Movilidad y Entornos Urbanos 2024 ($n = 8.855$ hogares PLM); (b) tejido comercial, derivado del EFA sobre la Encuesta de Corredores Estratégicos CCB 2024 ($n = 1.202$ establecimientos); (c) tejido empresarial, calculado a partir de seis sub-indicadores del Registro Mercantil 2024–2025 ($n = 186.033$ empresas); (d) delitos objetivos de alto impacto (SIEDCO, tasa por 1.000 empresas); y (e) percepción de seguridad ciudadana desde la Encuesta de Percepción y Victimización 2024 ($n = 9.180$ encuestados PLM). La Encuesta de Clima de Negocios 2024 complementa como diagnóstico contextual de la percepción empresarial. Los pesos se derivan por *entropía de Shannon*, sin intervención subjetiva: delitos (29,2 %), tejido empresarial (21,6 %), movilidad (19,0 %), establecimientos (17,1 %) y percepción ciudadana (13,2 %). Bosa (0,780), Kennedy (0,730) y Teusaquillo (0,664) lideran el ranking de exposición. El análisis de hipótesis confirma que las obras se asocian con mayor deterioro percibido de la seguridad ($\rho = +0,243, p < 10^{-29}$) y mayor victimización ($\rho = +0,117, p < 10^{-7}$), y que Bosa concentra el mayor riesgo combinado. El estudio articula dos instrumentos complementarios con unidades de análisis distintas: el IETU-PLM, construido a nivel de localidad ($n = 9$) como herramienta de priorización territorial, y el Índice de Inseguridad Percibida (IIP), construido a nivel de establecimiento ($n = 2.105$) para el contraste de hipótesis. Dado que la Encuesta de Corredores no contiene variable de localidad por establecimiento, ambos instrumentos no se vinculan directamente: el IIP usa el tramo del corredor (PLM vs. Calle 13) como proxy geográfico en H1–H3. Una extensión natural del estudio sería georreferenciar los establecimientos para correlacionar ambos índices en futuras rondas de encuesta. El análisis identifica, además, dos patrones diferenciados de inseguridad: entorno físico —deterioro del espacio público por obras, predominante en Mártires— y delincuencia directa sobre el negocio,

predominante en Bosa y Kennedy, lo que implica estrategias de intervención de distinta naturaleza.

Palabras clave: exposición territorial, seguridad MiPyme, obras públicas, análisis factorial exploratorio, entropía de Shannon, Primera Línea del Metro, Bogotá.

Contenido

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Introducción | 6 |
| 2 | Fuentes de Datos | 6 |
| 3 | Metodología del IETU-PLM | 7 |
| 3.1 | Componente I: Movilidad de Hogares | 7 |
| 3.2 | Componente II: Tejido Comercial (CCB) | 8 |
| 3.3 | Componente III: Tejido Empresarial | 8 |
| 3.4 | Componente IV: Delitos de Alto Impacto | 9 |
| 3.5 | Componente V: Percepción de Seguridad Ciudadana (EPV) | 9 |
| 3.6 | Contexto: Encuesta de Clima de Negocios | 9 |
| 3.7 | Ponderación por Entropía de Shannon | 10 |
| 4 | Análisis de Hipótesis: Seguridad MiPyme | 12 |
| 4.1 | Índice de Inseguridad Percibida (IIP) | 12 |
| 4.2 | Hipótesis Contrastadas | 12 |
| 5 | Resultados | 17 |
| 5.1 | Ranking IETU-PLM | 17 |
| 5.2 | Mapa de Calor y Perfiles | 17 |
| 5.3 | Perfiles de Exposición | 20 |
| 5.4 | Percepción Ciudadana de Seguridad (EPV) | 22 |
| 5.5 | Validación: Análisis de Sensibilidad | 23 |
| 6 | Implicaciones para la Gestión del Corredor | 23 |
| 6.1 | Lineamientos Operativos por Tipo de Exposición | 23 |
| 6.2 | Usos del Instrumento por Tipo de Actor | 24 |
| 6.3 | Esquema de Seguimiento por Fase de Obra | 25 |

IETU-PLM

5

7 Conclusiones

26

Introducción

La Primera Línea del Metro (PLM) de Bogotá es la mayor intervención de infraestructura urbana de la ciudad en décadas. Su corredor de construcción atraviesa nueve localidades — Chapinero, Santa Fe, Bosa, Kennedy, Barrios Unidos, Teusaquillo, Los Mártires, Antonio Nariño y Puente Aranda— cuyos hogares y empresas experimentan de forma diferencial los efectos de la disrupción constructiva: cierres viales, ruido, deterioro del espacio público y percepción de inseguridad. El Reto 2 del DataJam CCB 2026 solicita analizar la relación entre dichas obras y la percepción de seguridad, con énfasis en las experiencias del empresariado MiPyme.

En respuesta a este problema, el presente documento introduce el **IETU-PLM** (*Índice de Exposición Territorial Urbana — Primera Línea del Metro*), instrumento cuantitativo que mide la exposición relativa de cada localidad ante la disrupción constructiva desde cinco dimensiones: movilidad cotidiana de los hogares, percepción de seguridad en establecimientos comerciales, fragilidad del tejido empresarial, delitos objetivos de alto impacto y percepción ciudadana de seguridad. Los pesos de cada componente se derivan estadísticamente mediante *entropía de Shannon* (Shannon, 1948), garantizando que el componente con mayor poder discriminante entre localidades reciba mayor peso sin intervención subjetiva del analista. La Encuesta de Clima de Negocios se incorpora como diagnóstico contextual que evidencia la relevancia de la seguridad para el empresariado.

El documento se organiza así: la Sección 2 describe las fuentes; la Sección 3 explica la metodología; la Sección 4 presenta el análisis de hipótesis; la Sección 5 reporta los resultados; y la Sección 6 formula las recomendaciones.

Fuentes de Datos

El IETU-PLM integra seis fuentes independientes con ámbitos complementarios (Tabla 1).

Tabla 1*Fuentes de datos del IETU-PLM*

| Fuente | Contenido | n PLM | Rol |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| Enc. Movilidad y Entornos Urbanos 2024 | Hogares. Módulos por modo de transporte, percepción del entorno urbano e intención de cambio modal. | 8.855 | Comp. 1 |
| Enc. Corredores Estratégicos 2024 | Establecimientos comerciales. Satisfacción con el entorno, percepción de seguridad, impacto de obras sobre ventas. | 1.202 | Comp. 2 |
| Registro Mercantil CCB 2024–2025 | Empresas activas: tamaño, organización jurídica, ingresos, margen operacional, personal y antigüedad. | 186.033 | Comp. 3 |
| Datos Abiertos Bogotá (SIEDCO) | Delitos de alto impacto por localidad 2024: homicidio, hurto, lesiones, extorsión. | 9 loc. | Comp. 4 |
| Enc. Percepción y Victimización 2024 | Percepción de seguridad ciudadana: deterioro barrial, inseguridad en espacios, gestión institucional, victimización. | 9.180 | Comp. 5 |
| Enc. Clima de Negocios 2024 | Percepción empresarial del entorno de negocios (25 aspectos). Sin desagregación por localidad. | 2.131 | Contexto |

Nota. La ECN no entra como componente del índice porque todos los encuestados de Bogotá comparten la misma localización (F3=1); se usa como diagnóstico que justifica la relevancia de seguridad para el empresariado.

Metodología del IETU-PLM

Componente I: Movilidad de Hogares

La encuesta contiene 154 preguntas en módulos por modo de transporte. Se aplicó EFA de forma independiente en cada bloque temático (Fabrigar et al., 1999), evitando la contaminación entre modos. La adecuación se evaluó con KMO (Kaiser, 1970) (umbral $\geq 0,60$) y la prueba de esfericidad de Bartlett (Bartlett, 1951) ($p < 0,001$). La extracción utilizó ejes principales (PAF) con rotación Varimax (Kaiser, 1958). Un factor se retuvo si α de Cronbach (Cronbach, 1951) $\geq 0,60$ con al menos tres ítems de carga $|\lambda| \geq 0,35$ (Hair et al., 2019). Cuatro bloques produjeron factores válidos (Figura 1).

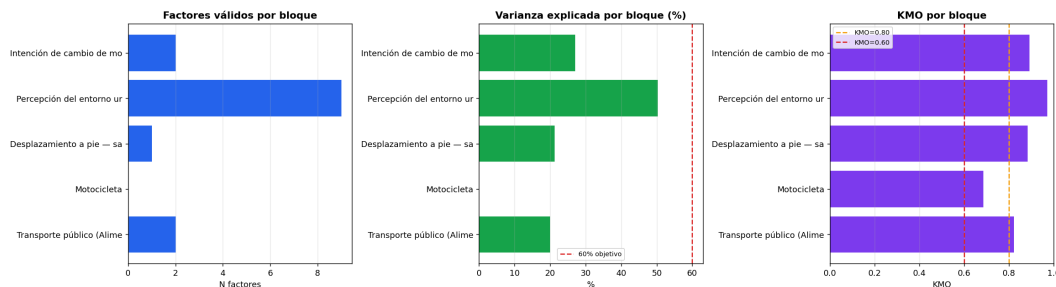


Figura 1. Resumen de bloques temáticos del EFA de movilidad. Los bloques válidos —transporte público, peatón, entorno urbano y cambio de modo— totalizan 14 factores. Los demás bloques no alcanzaron $KMO \geq 0,60$ o el mínimo de variables activas.

A cada factor se le asigna una *dirección de vulnerabilidad* (+1 o -1): un score alto en “satisfacción con infraestructura peatonal” se invierte, pues indica menor vulnerabilidad. Los scores dirigidos se promedian por localidad usando las dummies de localidad del DataFrame estandarizado.

Componente II: Tejido Comercial (CCB)

El EFA sobre 23 variables de percepción de la Encuesta de Corredores Estratégicos, previamente estandarizadas a T-score, produjo cinco factores: F1 satisfacción con entorno físico y seguridad; F2 informalidad e incumplimiento de normas; F3 acceso multimodal; F4 infraestructura verde; F5 postura ante el corredor (varianza acumulada: 48,4 %). Las 16 secciones del corredor se mapean a las 9 localidades PLM para agregar.

Componente III: Tejido Empresarial

Se construye directamente desde el Registro Mercantil CCB (186.033 registros en las 9 localidades) mediante seis sub-indicadores de fragilidad estructural:

- **% microempresas:** mayor proporción → tejido más frágil.
- **% persona natural:** mayor proporción → menor formalización.
- **Mediana de ingresos** (winsorizada al p90): menores ingresos → mayor vulnerabilidad (invertido).

- **Margen operacional mediana:** menor margen → mayor vulnerabilidad (invertido).
- **% con empleados:** menos empresas con empleados → mayor informalidad (invertido).
- **Edad mediana:** empresas más jóvenes → mayor riesgo de mortalidad (invertido).

Los seis sub-indicadores se normalizan individualmente a $[0, 1]$ con Min-Max y se promedian. La winsorización al percentil 90 en ingresos neutraliza el efecto de grandes empresas como outliers (Tukey, 1977).

Componente IV: Delitos de Alto Impacto

Se calcula la *tasa de delitos por 1.000 empresas activas* a partir de los datos abiertos de Bogotá (SIEDCO, 2024). Este indicador normaliza el conteo absoluto por la densidad empresarial: una localidad con muchos delitos pero también muchas empresas tiene una tasa relativa menor. La tasa es el indicador relevante para el reto porque mide la densidad delictiva *por unidad de actividad comercial*.

Componente V: Percepción de Seguridad Ciudadana (EPV)

La Encuesta de Percepción y Victimización 2024 (26.064 encuestados; 9.180 en PLM) aporta cuatro sub-indicadores: (a) porcentaje que percibe deterioro de seguridad en el barrio (P102); (b) promedio de inseguridad percibida en nueve espacios públicos (P1101–P1109, escala 1–5); (c) percepción negativa de gestión institucional (P4501–P4506, calificación ≤ 2); (d) porcentaje víctima de delito en el último año (P203). Se normalizan individualmente a $[0, 1]$ y se promedian.

Contexto: Encuesta de Clima de Negocios

La ECN 2024 (2.131 empresarios en Bogotá) evalúa 25 aspectos del entorno de negocios (P33_A a P33_Y, escala 1–5). La variable P33_H mide específicamente las condiciones de seguridad. La ECN no tiene desagregación por localidad, por lo que se usa como diagnóstico contextual que justifica la relevancia de la seguridad como dimensión del índice y permite comparar la percepción por tamaño de empresa (microempresas vs. grandes).

Ponderación por Entropía de Shannon

En lugar de asignar pesos arbitrarios, los pesos se derivan empíricamente mediante el método de entropía de Shannon (Shannon, 1948; Hwang and Yoon, 1981):

1. Cada componente se normaliza a $[0, 1]$ con Min-Max (Ec. 2).
2. Se calcula la proporción: $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$.
3. La entropía del componente j :

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad E_j \in [0, 1] \quad (1)$$

4. La diversidad: $d_j = 1 - E_j$. Mayor diversidad significa que el componente discrimina más entre localidades.
5. El peso: $w_j = d_j / \sum_{k=1}^m d_k$.

$$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

El índice compuesto es el promedio ponderado:

$$\text{IETU}_i = \sum_{j=1}^5 w_j \cdot C_{j,i} \quad (3)$$

Los pesos resultantes (Figura 2) reflejan la capacidad discriminante de cada componente: delitos (29,2 %) recibe el mayor peso porque la tasa delictiva varía fuertemente entre localidades, mientras que percepción ciudadana (13,2 %) recibe el menor peso porque los valores EPV son más homogéneos.

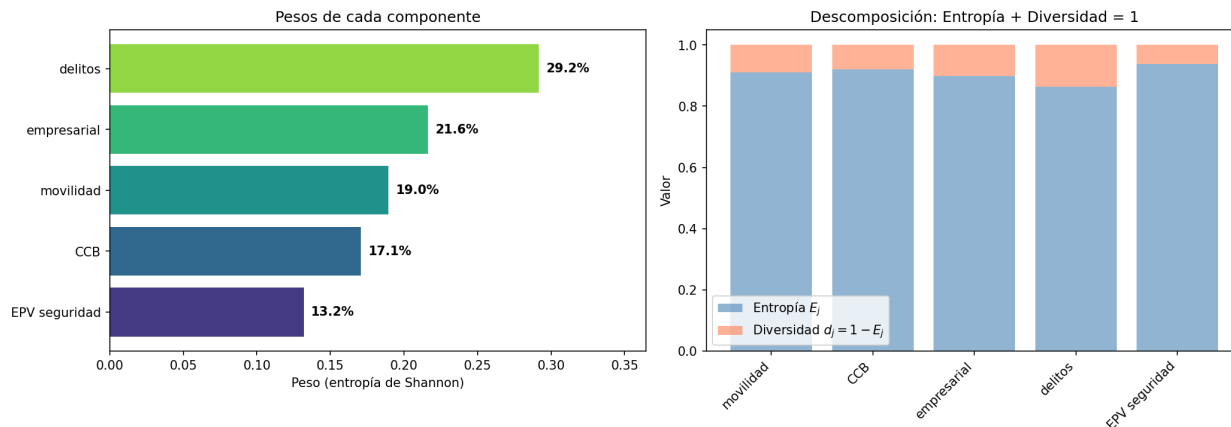


Figura 2. Panel izquierdo: pesos derivados por entropía de Shannon. Panel derecho: descomposición de cada componente en entropía (E_j , azul) y diversidad ($d_j = 1 - E_j$, coral). Los pesos son proporcionales a la diversidad.

El documento presenta dos instrumentos cuantitativos que operan a escalas distintas y cumplen funciones complementarias. El IETU-PLM es un índice territorial construido sobre nueve localidades ($n = 9$ unidades de agregación); su propósito es describir la exposición relativa de cada localidad y orientar la focalización de recursos. El IIP es un índice a nivel de establecimiento ($n = 2.105$) construido sobre variables individuales de la Encuesta de Corredores Estratégicos; su propósito es contrastar hipótesis sobre la experiencia de inseguridad de los empresarios. Ambos aplican entropía de Shannon para derivar pesos, pero miden fenómenos a escalas inconmensurables y no deben interpretarse como validación mutua. El vínculo entre los dos instrumentos es parcial: dado que la Encuesta de Corredores no contiene variable de localidad por establecimiento, H1–H3 utilizan el tramo del corredor (PLM vs. Calle 13) como proxy geográfico. H4 es el único contraste que usa directamente los componentes del IETU-PLM, calculados a nivel de localidad. Una extensión natural sería georreferenciar los establecimientos para correlacionar ambos índices en futuras rondas de encuesta, lo que permitiría verificar si las localidades con mayor IETU-PLM concentran también los establecimientos con mayor IIP.

Análisis de Hipótesis: Seguridad MiPyme

Índice de Inseguridad Percibida (IIP)

Se construyó un IIP a nivel de establecimiento ($n = 2.105$) a partir de cuatro componentes de la Encuesta de Corredores Estratégicos CCB 2024, todas orientadas pro-inseguridad y reescaladas a $[0, 1]$:

- **Insatisfacción con seguridad vial** (P33F invertida): $(5 - P33F)/4$ sobre la escala Likert 1–5 de satisfacción.
- **Insatisfacción con seguridad general** (P33G invertida): $(5 - P33G)/4$.
- **Victimización efectiva** (P44_any): indicador binario igual a 1 si el establecimiento o sus empleados han sido víctimas de al menos una de las siete categorías de violencia registradas en P44 (hurto a comercio, hurto a personas, extorsión, acoso sexual callejero, violencia de género física y sexual, lesiones personales, riñas o situaciones de convivencia). Se excluye la categoría “no he sido víctima”.
- **Percepción de deterioro con las obras** (P43_grad): gradiente ordinal derivado de P43, con valores 0 (“la seguridad ha mejorado”), 0,5 (“sigue igual”) y 1 (“ha empeorado”).

Los pesos se derivaron por entropía de Shannon (misma metodología que el IETU) sobre los cuatro componentes normalizados. La variable con mayor capacidad discriminante entre establecimientos fue la victimización efectiva (P44_any, $w = 0,690$), seguida por las dos escalas Likert de percepción (P33F_inv $w = 0,126$; P33G_inv $w = 0,119$) y el gradiente de cambio con las obras (P43_grad $w = 0,065$). El IIP se calcula como $IIP_i = \sum_j w_j \cdot x_{j,i} \in [0, 1]$. La media muestral es $\bar{IIP} = 0,483$ (DE = 0,362); por corredor, Calle 13 registra 0,461 y PLM 0,499.

Hipótesis Contrastadas

Dado que las distribuciones del IIP y sus componentes rechazan la hipótesis de normalidad (Shapiro–Wilk, D’Agostino–Pearson y Kolmogorov–Smirnov, $p < 10^{-33}$ en todos los casos),

se emplean pruebas no paramétricas o con corrección de heterocedasticidad en cada contraste: regresión OLS con errores robustos HC3 (MacKinnon and White, 1985) para H1, correlación de Spearman (Spearman, 1904) para H2, test de Mann–Whitney U con δ de Cliff (Mann and Whitney, 1947; Cliff, 1993) para H3, y perfil descriptivo en z -scores para H4.

H1: El corredor PLM predice mayor inseguridad percibida. Regresión OLS $IIP \sim TRAMO$ a nivel de establecimiento con errores robustos HC3 ($n = 2.105$): $\beta_{PLM} = +0,038$ (EE = 0,016), $p = 0,017$, $R^2 = 0,003$ (Figura 3). *Parcialmente confirmada.* El paso de Calle 13 a PLM se asocia a un incremento promedio de 3,8 puntos porcentuales en el IIP, estadísticamente significativo pero de magnitud modesta. El R^2 inferior al 1 % confirma que la exposición territorial agregada (aquí aproximada por el tramo) no predice la inseguridad individual: la heterogeneidad entre establecimientos domina. Este hallazgo *valida el diseño del instrumento* al posicionar el IETU-PLM como herramienta descriptiva de exposición territorial, no como modelo explicativo a nivel de establecimiento.

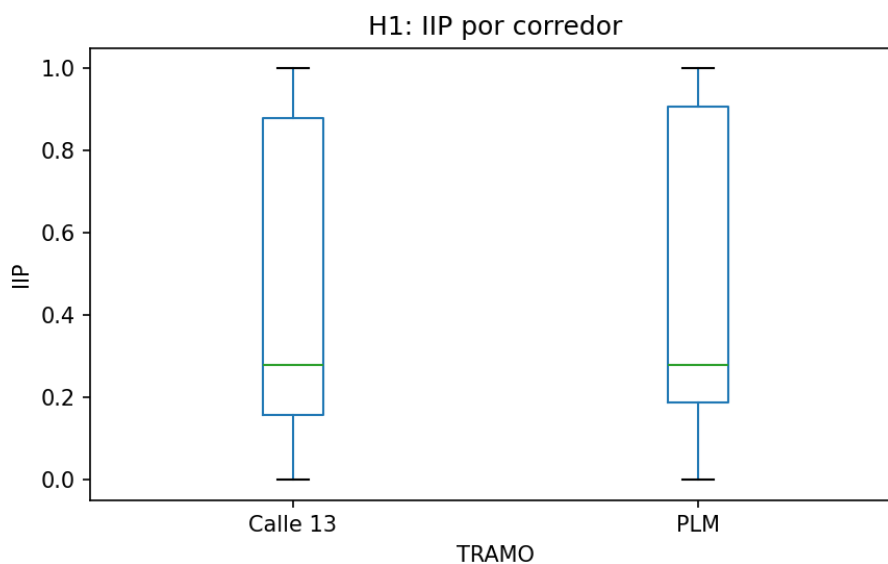


Figura 3. Distribución del IIP por corredor ($n = 2.105$). PLM registra un IIP promedio de 0,499 frente a 0,461 en Calle 13. Fuente: Encuesta de Corredores Estratégicos CCB 2024 (Cámara de Comercio de Bogotá, 2024a).

H2: Las obras se asocian a mayor deterioro percibido de la seguridad. La preocupación por las obras se operacionaliza mediante P40 (Likert 1–5 sobre la duración del corredor), y el impacto sobre la seguridad se mide con dos indicadores independientes: P43_grad (cambio percibido de la seguridad con las obras) y P44_any (victimización efectiva), ambos componentes del IIP. La correlación de Spearman reporta $\rho_{P43_grad, P40} = +0,243$ ($p < 10^{-28}$) y $\rho_{P44_any, P40} = +0,117$ ($p < 10^{-7}$) con $n = 2.105$ (Figura 4). *Confirmada en dirección, con magnitud modesta.* Los establecimientos más preocupados por la duración de las obras reportan tanto mayor deterioro percibido de la seguridad como mayor victimización efectiva. Estos resultados evidencian una asociación estadísticamente significativa entre la preocupación por las obras y los indicadores de inseguridad; no obstante, la magnitud moderada de los coeficientes indica que las obras constituyen uno de varios factores en la experiencia de inseguridad del corredor, y que la relación observada no debe interpretarse como validación de una cadena causal completa sin controles adicionales.

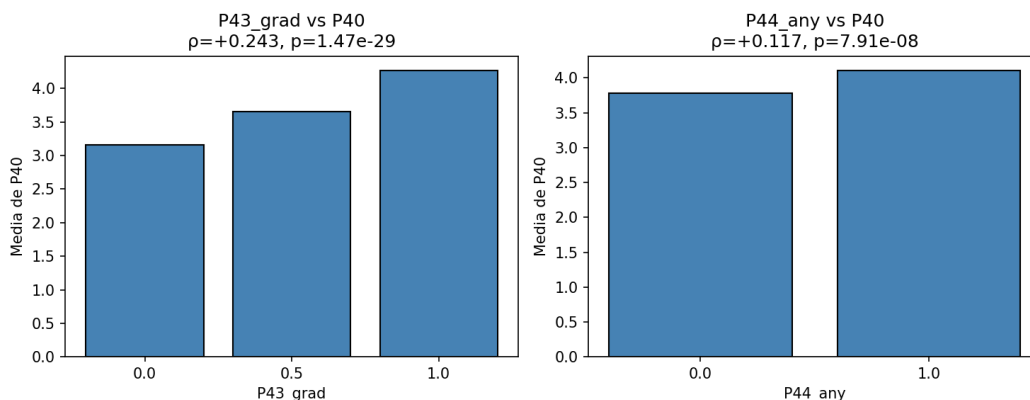


Figura 4. Asociación entre preocupación por las obras (P40) y dos medidas independientes de inseguridad: cambio percibido (P43_grad) y victimización (P44_any). Spearman $\rho = +0,243$ y $\rho = +0,117$ respectivamente. Fuente: Encuesta de Corredores Estratégicos CCB 2024 (Cámara de Comercio de Bogotá, 2024a).

H3: El corredor PLM concentra mayor inseguridad que Calle 13. Al no contar con variable de localidad por establecimiento en la base de Corredores, la comparación geográfica se realiza a nivel de corredor. Test de Mann–Whitney U (más apropiado que el t -test para variables

ordinales acotadas) PLM vs Calle 13 sobre el IIP: $U = 602.924$, $p < 10^{-4}$, con un tamaño de efecto δ de Cliff = +0,111 (Figura 5). Test análogo sobre P43_grad: $U = 601.268$, $p < 10^{-5}$, $\delta = +0,108$. *Confirmada con efecto pequeño*. El IIP promedio es significativamente mayor en PLM (0,499) que en Calle 13 (0,461), pero la magnitud del efecto ($\delta \approx 0,11$) se ubica en el rango de “pequeño” según las convenciones habituales para el estadístico δ de Cliff. La diferencia es real y sistemática, pero no dramática.

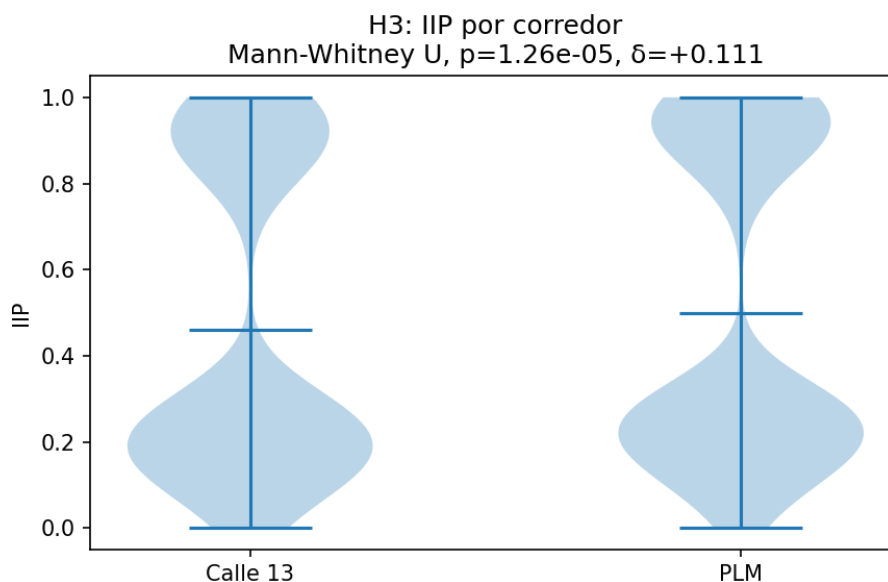


Figura 5. Distribución del IIP por corredor con densidades estimadas. Mann–Whitney U confirma una diferencia significativa ($p < 10^{-5}$) con tamaño de efecto $\delta = +0,111$. Fuente: Encuesta de Corredores Estratégicos CCB 2024 (Cámara de Comercio de Bogotá, 2024a).

H4: Bosa concentra el mayor riesgo combinado del corredor PLM. Perfil multidimensional en z -scores calculados sobre los cinco componentes del IETU-PLM (Movilidad, CCB, Empresarial, Delitos, EPV) ya normalizados a $[0, 1]$, estandarizados usando la media y desviación del corredor completo. Bosa obtiene un z promedio de +0,66 y lidera el ranking combinado (Figura 6). *Confirmada*. Los componentes que más empujan a Bosa son Empresarial ($z = +1,65$) y Movilidad ($z = +1,12$), seguidos por Delitos ($z = +0,63$) y EPV ($z = +0,54$). El componente CCB (establecimientos del corredor) es negativo ($z = -0,63$), lo que matiza el

diagnóstico: Bosa no tiene la mayor densidad comercial del corredor, pero su tejido empresarial es el más frágil (98,5 % de microempresas con margen operativo mediano de 2,5 %, el menor del corredor) y su exposición a movilidad precaria y delitos es alta. El ranking completo de riesgo combinado ubica a Bosa (+0,66) y Kennedy (+0,57) en los dos primeros lugares, seguidos por Mártires (+0,25), Teusaquillo (+0,23), Antonio Nariño (+0,03), Puente Aranda (-0,24), Chapinero (-0,32), Santa Fe (-0,56) y Barrios Unidos (-0,62).

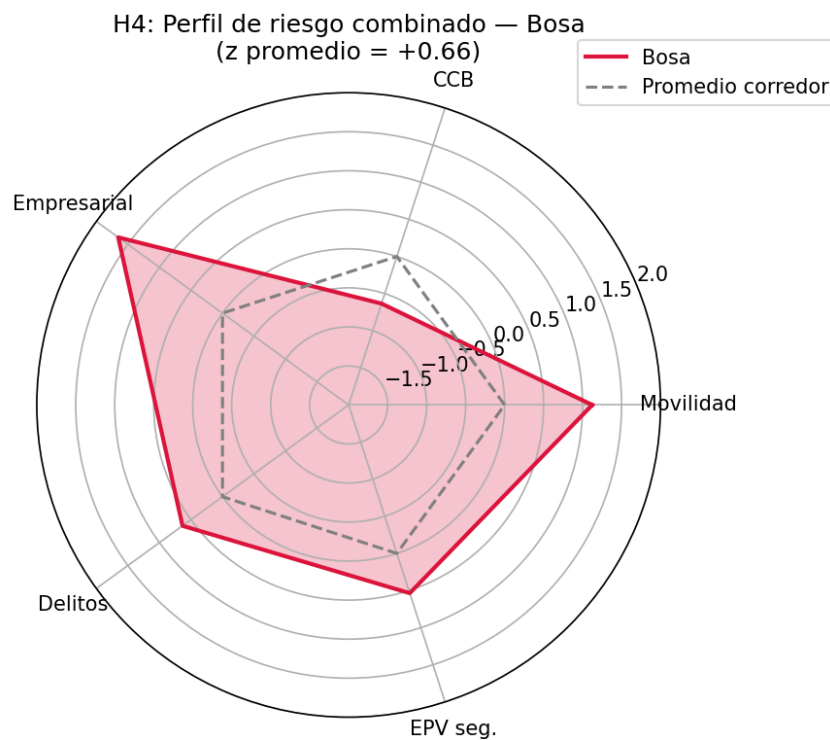


Figura 6. Perfil radar de riesgo combinado de Bosa frente al promedio del corredor PLM ($z = 0$), sobre los cinco componentes del IETU-PLM. Bosa supera al corredor en cuatro de las cinco dimensiones. Fuente: elaboración propia.

Resultados

Ranking IETU-PLM

La Tabla 2 presenta el ranking final del IETU-PLM con los cinco componentes normalizados y el índice compuesto ponderado por entropía de Shannon.

Tabla 2

Ranking IETU-PLM por localidad del corredor PLM

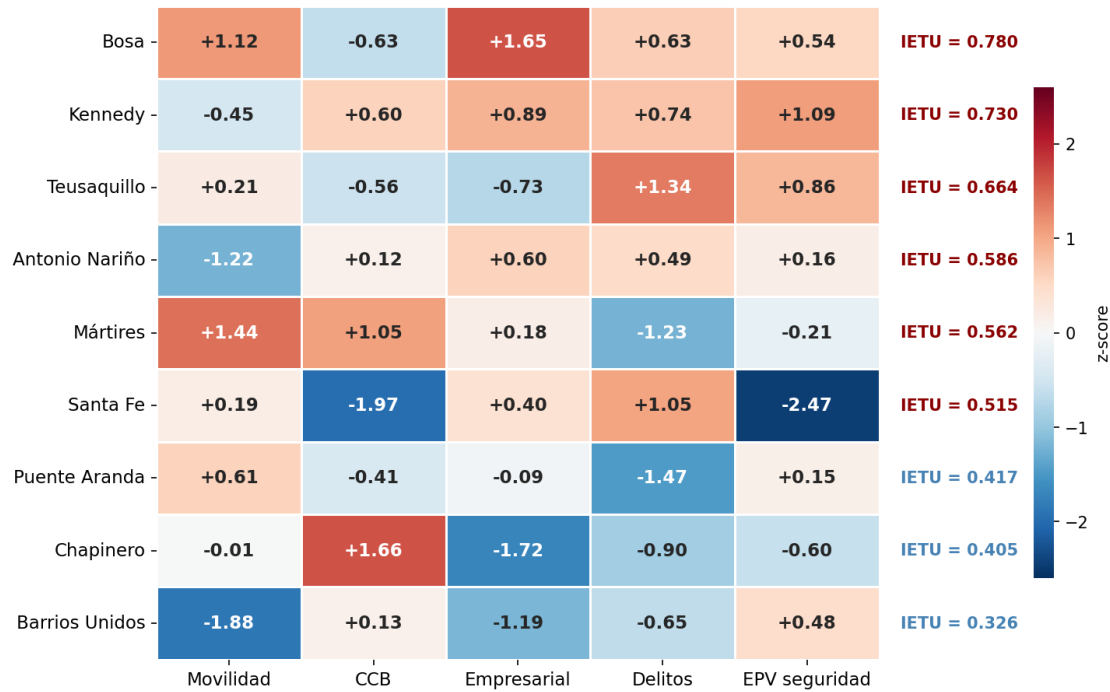
| # | Localidad | Mov. | CCB | Emp. | Del. | EPV | IETU |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 1 | Bosa | 0,906 | 0,367 | 1,000 | 0,747 | 0,844 | 0,780 |
| 2 | Kennedy | 0,432 | 0,707 | 0,775 | 0,783 | 1,000 | 0,730 |
| 3 | Teusaquillo | 0,631 | 0,389 | 0,292 | 1,000 | 0,935 | 0,664 |
| 4 | Antonio Nariño | 0,201 | 0,576 | 0,689 | 0,697 | 0,740 | 0,586 |
| 5 | Mártires | 1,000 | 0,833 | 0,563 | 0,083 | 0,635 | 0,562 |
| 6 | Santa Fe | 0,624 | 0,000 | 0,628 | 0,894 | 0,000 | 0,515 |
| 7 | Puente Aranda | 0,750 | 0,429 | 0,483 | 0,000 | 0,735 | 0,417 |
| 8 | Chapinero | 0,563 | 1,000 | 0,000 | 0,200 | 0,525 | 0,405 |
| 9 | Barrios Unidos | 0,000 | 0,578 | 0,157 | 0,289 | 0,829 | 0,326 |

Nota. Escala [0, 1]. Mov. = Movilidad hogares; CCB = Establecimientos corredores; Emp. = Tejido empresarial; Del. = Delitos alto impacto; EPV = Percepción seguridad ciudadana; IETU = Índice compuesto. Pesos por entropía de Shannon: Del. 29,2 %, Emp. 21,6 %, Mov. 19,0 %, CCB 17,1 %, EPV 13,2 %.

Mapa de Calor y Perfiles

La Figura 7 muestra el mapa de calor de los cinco componentes normalizados. Cada fila es una localidad (ordenada por IETU-PLM) y cada columna un componente. Los colores más oscuros (rojos) indican mayor vulnerabilidad.

Vulnerabilidad por componente: desviación respecto al promedio del corredor PLM



Rojo ($z > 0$): vulnerabilidad superior al promedio del corredor. Azul ($z < 0$): inferior al promedio. Blanco ($z \approx 0$): en el promedio.

Figura 7. Desviación de cada localidad respecto al promedio del corredor PLM (z-scores). Celdas rojas ($z > 0$) indican vulnerabilidad superior al promedio; azules ($z < 0$), inferior; blancas ($z \approx 0$), en el promedio. El IETU compuesto aparece al margen derecho. Los valores normalizados [0, 1] correspondientes se detallan en la Tabla 2.

La Figura 8 muestra los perfiles radar individuales de cada localidad, evidenciando los patrones diferenciados de exposición.

Perfil de vulnerabilidad por localidad PLM

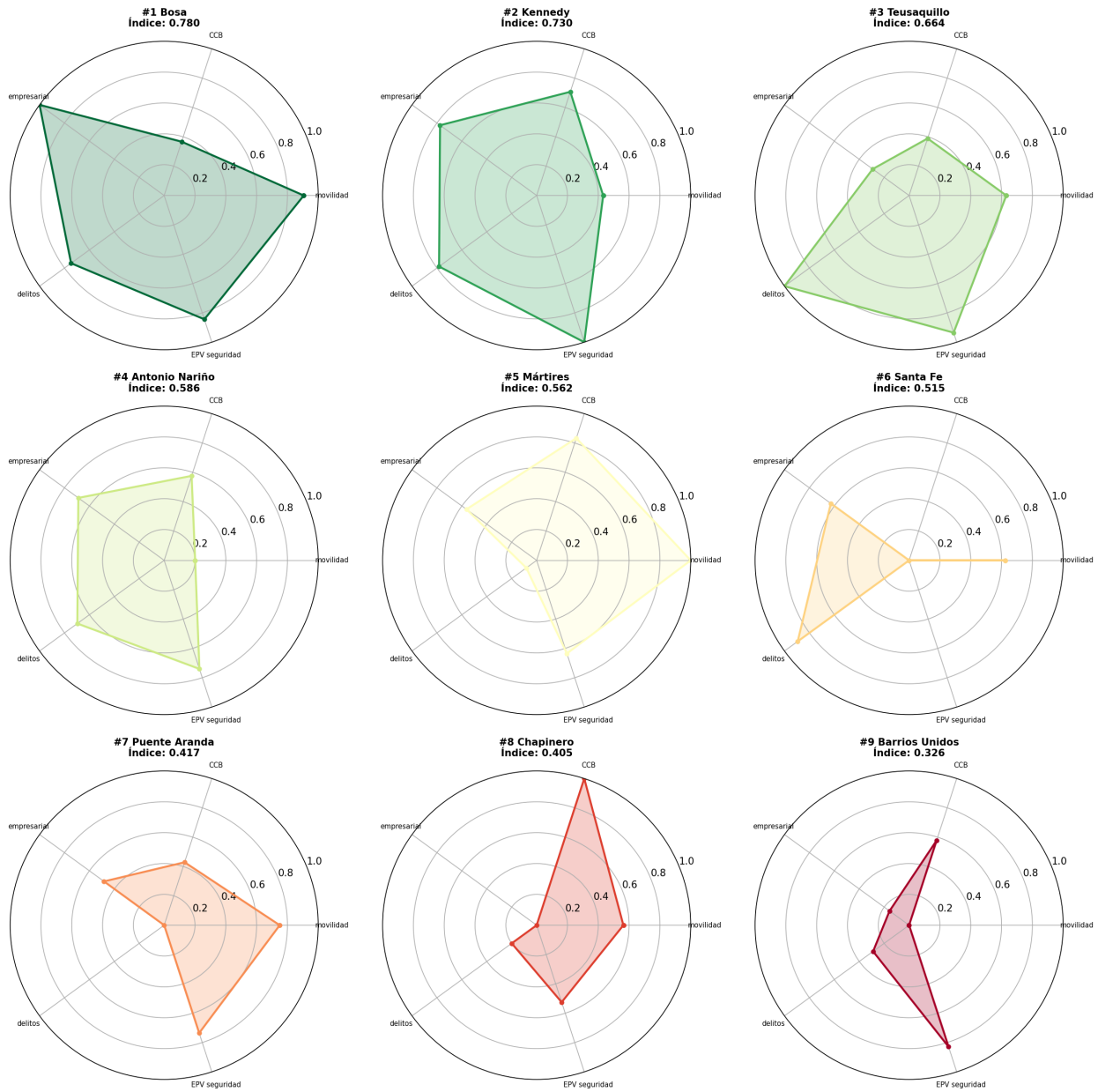


Figura 8. Perfiles radar de vulnerabilidad por localidad del corredor PLM. Cada eje representa un componente normalizado [0,1]. Polígonos más amplios indican mayor vulnerabilidad multidimensional.

Perfiles de Exposición

Bosa (0,780) lidera el ranking con el máximo en componente empresarial (1,000): sus 17.249 empresas tienen 98,5 % de microempresas con margen operacional de apenas 2,5 %, lo que significa que cualquier reducción en ventas puede desencadenar cierres en cadena. Además, presenta la segunda mayor percepción de inseguridad ciudadana (0,844) y una tasa delictiva de 64 por 1.000 empresas. Es la localidad donde convergen fragilidad empresarial extrema con inseguridad de *delincuencia directa* sobre el negocio.

Kennedy (0,730) alcanza el máximo en percepción ciudadana de inseguridad (EPV = 1,000): el 73,6 % de sus encuestados percibe deterioro de seguridad barrial y el 16,1 % fue víctima de delito. Con 39.190 empresas — la mayor masa empresarial del corredor — y una tasa delictiva de 65 por 1.000, su exposición combina volumen empresarial con presión delictiva intensa.

Teusaquillo (0,664) presenta el máximo en delitos (1,000): su tasa de 71,3 por 1.000 empresas es la más alta del corredor, impulsada por una base empresarial relativamente pequeña (14.004) frente a un volumen delictivo significativo. La percepción ciudadana de inseguridad también es elevada (0,935).

Mártires (0,562) lidera en movilidad (1,000) y tiene la segunda mayor vulnerabilidad CCB (0,833), pero su tasa delictiva es baja (0,083). Su inseguridad es de *entorno físico*: la peor experiencia de movilidad del corredor combinada con deterioro del espacio público por obras, no por delincuencia directa.

Antonio Nariño (0,586) ocupa la cuarta posición con un perfil de vulnerabilidad equilibrado: ninguno de sus cinco componentes es extremo, pero todos se ubican en la mitad superior del corredor. Su base empresarial de 7.766 empresas —la menor del corredor— tiene 94,7 % de microempresas (Emp. = 0,689), una tasa delictiva de 62,6 por 1.000 (Del. = 0,697) y el 65,0 % de sus encuestados percibe deterioro de la seguridad barrial (EPV = 0,740). Su principal fortaleza relativa es la movilidad (0,201), la segunda más baja del corredor, lo que sugiere menor interrupción vial directa.

Mártires (0,562) lidera en movilidad (1,000) y tiene la segunda mayor vulnerabilidad CCB (0,833), pero su tasa delictiva es baja (0,083). Su inseguridad es de *entorno físico*: la peor

experiencia de movilidad del corredor combinada con deterioro del espacio público por obras, no por delincuencia directa.

Santa Fe (0,515) presenta un perfil polarizado: la segunda mayor tasa delictiva del corredor (Del. = 0,894; 68,2 por 1.000 empresas) contrasta con el mínimo absoluto en percepción ciudadana (EPV = 0,000) y en establecimientos CCB (= 0,000). Esto indica que, pese a una presión delictiva objetiva alta, los comerciantes del corredor en esta zona no la perciben como insegura —posiblemente por habituación o por un perfil empresarial más resistente (54,3 % de persona natural, inferior al promedio). Sus 14.777 empresas tienen un 94,0 % de microempresas y margen de 6,0 %.

Puente Aranda (0,417) registra la tasa delictiva más baja del corredor en términos normalizados (Del. = 0,000; 42,6 por 1.000 empresas), pero paradójicamente el 72,5 % de sus encuestados percibe deterioro de seguridad barrial —la segunda cifra más alta después de Kennedy. Con 19.362 empresas (90,2 % micro, margen 6,6 %) y un componente de movilidad elevado (0,750), su vulnerabilidad proviene de la disrupción vial y la percepción subjetiva, no de la delincuencia objetiva.

Chapinero (0,405) presenta la máxima vulnerabilidad CCB (1,000) por la mayor presión de competencia informal, pero su tejido empresarial es el más sólido del corredor (0,000) con apenas 83,2 % de microempresas y el mayor margen operacional (8,7 %). Sus 37.655 empresas —la segunda mayor masa empresarial— tienen la menor proporción de persona natural (15,1 %), reflejando un tejido más formalizado. La tasa delictiva (48,3 por 1.000) y la percepción de inseguridad (EPV = 0,525) se sitúan en la zona media del corredor.

Barrios Unidos (0,326) cierra el ranking con la menor vulnerabilidad compuesta. Su fortaleza principal es la movilidad (0,000) —la mejor experiencia de desplazamiento del corredor— y un tejido empresarial relativamente robusto (Emp. = 0,157; 87,6 % de microempresas con margen de 6,6 %). Sin embargo, presenta la mayor tasa de victimización del corredor (18,2 % de encuestados víctimas de delito) y una percepción de deterioro barrial del 68,7 % (EPV = 0,829). La aparente contradicción entre baja vulnerabilidad compuesta y alta victimización se explica porque su buen desempeño en movilidad y tejido empresarial compensa el componente de percepción. Esto hace

de Barrios Unidos un caso que requiere vigilancia focalizada en seguridad directa a pesar de su posición favorable en el índice global.

Percepción Ciudadana de Seguridad (EPV)

La Figura 9 desglosa los cuatro sub-indicadores de la EPV por localidad, mostrando que Kennedy y Bosa concentran los peores resultados en deterioro barrial y victimización, mientras que Teusaquillo destaca en percepción negativa de gestión institucional.

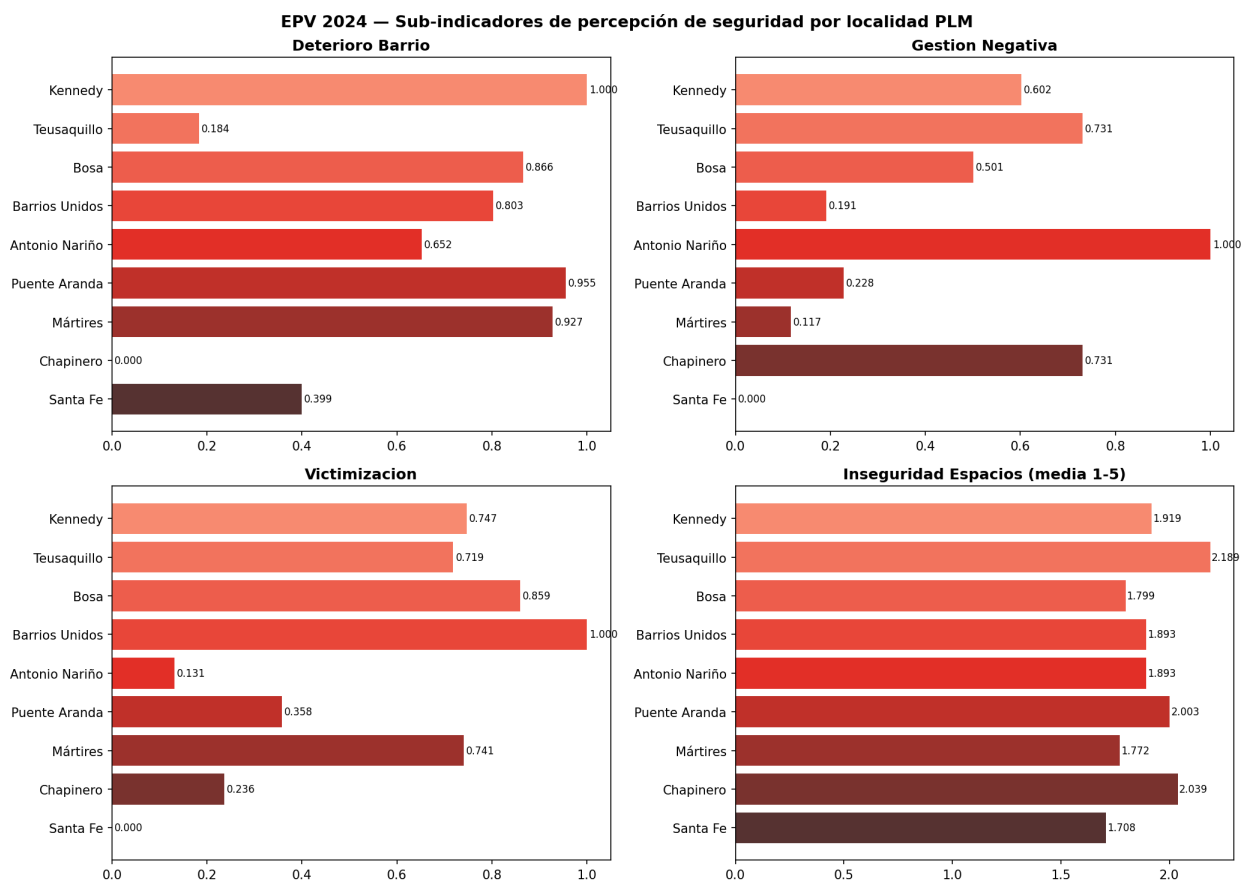


Figura 9. Sub-indicadores de percepción de seguridad ciudadana (EPV 2024) por localidad del corredor PLM. Fuente: Encuesta de Percepción y Victimización (Cámara de Comercio de Bogotá, 2024b), $n = 9.180$.

Validación: Análisis de Sensibilidad

Para evaluar la robustez del ranking se compararon tres esquemas de ponderación: (a) entropía de Shannon (método elegido); (b) equiponderado (20 % cada uno); (c) seguridad focalizada (40 % delitos + 30 % EPV + 10 % cada otro). La Figura 10 muestra que las posiciones extremas (Bosa en primer lugar, Barrios Unidos en último) son estables bajo los tres esquemas, lo que confirma la robustez del ranking.

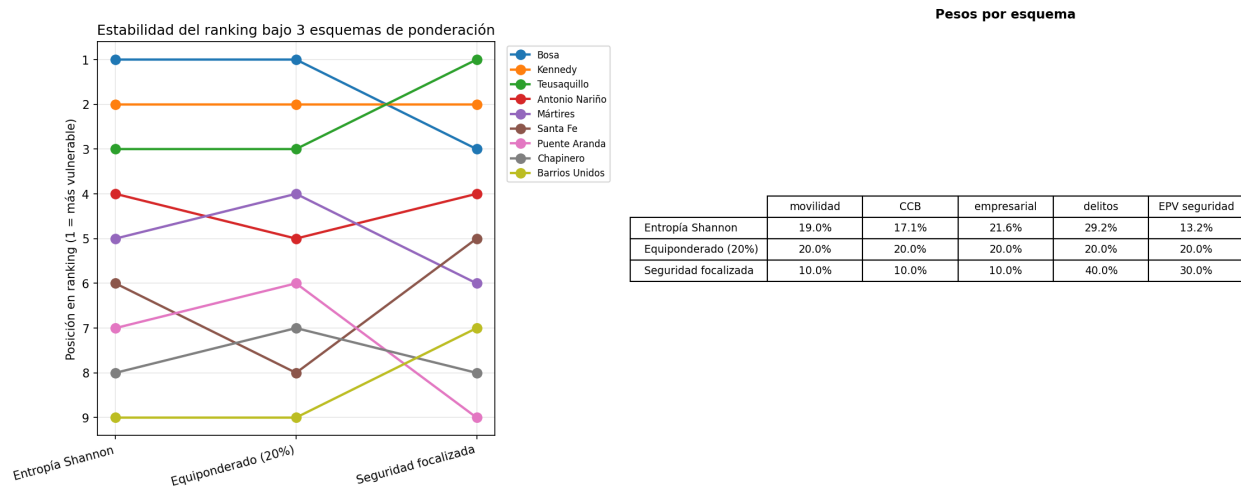


Figura 10. Estabilidad del ranking bajo tres esquemas de ponderación. Panel izquierdo: evolución de posiciones por esquema (bump chart). Panel derecho: tabla de pesos por esquema.

Implicaciones para la Gestión del Corredor

Los hallazgos del IETU-PLM ofrecen insumos diagnósticos que pueden orientar decisiones de gestión durante las obras de la PLM. Las observaciones que siguen se desprenden directamente de los resultados del índice y del contraste de hipótesis; no pretenden sustituir la evaluación técnica de las entidades competentes, sino traducir los patrones identificados en orientaciones operativas diferenciadas según el tipo de riesgo y el actor que las gestione.

Lineamientos Operativos por Tipo de Exposición

La distinción entre los dos patrones de inseguridad identificados no es solo descriptiva: implica que las acciones deben partir de diagnósticos distintos y apuntar a dimensiones distintas del

problema. La Tabla 3 sintetiza, para cada perfil, la fuente de riesgo dominante según los datos del IETU-PLM, los indicadores que deben monitorearse con mayor frecuencia y el tipo de respuesta que los resultados sugieren como más pertinente.

Tabla 3

Lineamientos operativos según perfil de exposición del IETU-PLM

| Perfil | Localidades | Indicadores a monitorear | Tipo de respuesta sugerida |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inseguridad de entorno físico | Mártires, Puente Aranda | Componente de movilidad (IETU-Mov) y CCB; accesibilidad peatonal al comercio; percepción de deterioro del espacio público (P43_grad) | Gestión del espacio transitorio de obra: señalización de accesos a comercios, iluminación provisional, información proactiva de rutas alternas |
| Inseguridad de delincuencia directa | Bosa, Kennedy, Teusaquillo | Tasa delictiva por 1.000 empresas (SIEDCO); victimización efectiva (P44_any); componente empresarial (Emp.) | Acompañamiento al tejido empresarial: orientación a MiPymes sobre rutas de denuncia, articulación con instancias de seguridad locales, seguimiento a variación de ventas durante la obra |
| Vulnerabilidad empresarial extrema | Bosa (Emp. = 1,000; margen 2,5 %) | Margen operacional mediano; tasa de cierre de establecimientos; victimización (P44_any) | Priorización de servicios de acompañamiento empresarial de la CCB en esta localidad durante las fases de mayor intensidad constructiva |

Nota. Los tipos de respuesta sugeridos son consistentes con los factores dominantes identificados en el IETU-PLM y no implican prescripciones sobre instrumentos específicos de política pública, cuya viabilidad depende de la evaluación de las entidades competentes.

Usos del Instrumento por Tipo de Actor

El IETU-PLM fue construido sobre fuentes que distintos actores ya administran o consultan regularmente, lo que facilita su apropiación sin requerir nueva infraestructura de datos. A continuación se describen los usos más directos que el instrumento habilita según el tipo de actor.

Cámara de Comercio de Bogotá. La CCB administra tres de las cinco fuentes del índice (Encuesta de Corredores, Encuesta de Movilidad y Registro Mercantil), lo que le permite recalcular el IETU-PLM con cada nueva ronda de encuesta sin dependencia de terceros. El índice puede funcionar como insumo para focalizar los servicios empresariales de la CCB (asesoría, renovación de registro, programas de fortalecimiento) en las localidades de mayor exposición en cada fase de obra. Dado que el efecto de las obras sobre la inseguridad percibida es significativo pero de magnitud modesta ($\rho = +0,243$), el monitoreo periódico permite detectar si ese efecto se intensifica en fases de mayor impacto constructivo y activar atención diferenciada de forma oportuna.

Entidades públicas distritales. Las Alcaldías Locales y la Secretaría Distrital de Seguridad cuentan con el SIEDCO como fuente propia. El componente de delitos del IETU-PLM (tasa por 1.000 empresas activas) puede actualizarse mensualmente con esa fuente y compararse con el valor de referencia calculado en este estudio para detectar desviaciones por tramo de avance. Esta lectura por tramo es especialmente relevante dado que H3 confirma que la intensidad local importa más que la pertenencia al corredor en general ($\delta = +0,111$).

Gremios y asociaciones empresariales. Los gremios con presencia en el corredor pueden usar el ranking del IETU-PLM para orientar sus gestiones ante entidades públicas, priorizando territorialmente sus solicitudes según el perfil de exposición identificado. La distinción entre perfil físico y perfil delictivo les permite argumentar tipos de intervención distintos para localidades distintas, en lugar de peticiones uniformes para todo el corredor.

Esquema de Seguimiento por Fase de Obra

El IETU-PLM está diseñado para ser actualizable sin ajustes metodológicos: cada nueva encuesta disponible reemplaza los datos del componente correspondiente y el índice se recalcula con los mismos pesos de entropía. Se sugiere un esquema de tres momentos de medición alineados con las fases constructivas de la PLM: (1) línea de base al inicio de cada tramo activo de obra; (2) medición intermedia en el punto de mayor intensidad constructiva; y (3) medición de cierre una

vez concluidas las obras en cada tramo. Este esquema permitiría no solo detectar si la exposición aumenta durante la obra, sino también verificar si se recupera tras su conclusión, informando decisiones de acompañamiento post-obra en las localidades con tejido empresarial más frágil.

Conclusiones

El IETU-PLM identifica qué localidades del corredor enfrentan mayor exposición territorial y de qué tipo. Bosa (0,780), Kennedy (0,730) y Teusaquillo (0,664) lideran el ranking por razones distintas: Bosa por fragilidad empresarial extrema combinada con delincuencia directa; Kennedy por el mayor volumen empresarial bajo presión delictiva e inseguridad ciudadana máxima; Teusaquillo por la mayor tasa delictiva relativa del corredor. Mártires, en cambio, presenta una inseguridad de *entorno físico* —movilidad y deterioro del espacio público— y no de delincuencia directa, lo que exige intervenciones de naturaleza distinta.

El contraste de las cuatro hipótesis arroja un diagnóstico coherente. H1 muestra que pertenecer al corredor PLM incrementa el IIP en 3,8 puntos porcentuales ($\beta = +0,038$, $p = 0,017$), efecto estadísticamente significativo pero modesto ($R^2 = 0,3\%$), lo que confirma que el IETU-PLM es un instrumento de exposición territorial y no un modelo predictivo a nivel de establecimiento. H2 confirma que la preocupación por las obras se asocia tanto con mayor deterioro percibido de la seguridad ($\rho = +0,243$, $p < 10^{-29}$) como con mayor victimización efectiva ($\rho = +0,117$, $p < 10^{-7}$); la magnitud modesta de ambas correlaciones indica que las obras son uno de varios factores en la experiencia de inseguridad, no su determinante único. H3 ratifica que el corredor PLM concentra significativamente mayor inseguridad que Calle 13 (Mann–Whitney $U = 602.924$, $p < 10^{-5}$, $\delta = +0,111$), aunque el efecto es pequeño según las convenciones de Cliff. H4 posiciona a Bosa como la localidad de mayor riesgo combinado ($\bar{z} = +0,66$), impulsada por su tejido empresarial extremadamente frágil ($z = +1,65$) y movilidad precaria ($z = +1,12$), seguida por Kennedy (+0,57).

La ponderación por entropía de Shannon garantiza que los pesos reflejen la capacidad discriminante real de cada componente: delitos (29,2 %) recibe el mayor peso porque la tasa delictiva varía fuertemente entre localidades, mientras que percepción ciudadana (13,2 %) es más

homogénea. El análisis de sensibilidad bajo tres esquemas de ponderación confirma la estabilidad del ranking en sus posiciones extremas.

El IETU-PLM fue diseñado como instrumento actualizable y completamente reproducible. Todo el pipeline —desde las fuentes originales hasta el índice compuesto— se ejecuta sin datos intermedios precodificados, lo que permite recalcularlo con cada nueva ronda de encuesta a medida que avancen las fases de construcción. El hallazgo transversal es que seguridad y viabilidad económica no son efectos independientes sino manifestaciones del mismo fenómeno de disrupción; su gestión, por tanto, no puede ser uniforme a lo largo del corredor. La identificación de dos patrones diferenciados de exposición —entorno físico y delincuencia directa— traduce el ranking territorial en orientaciones operativas distintas para cada localidad, y la desagregación por componente permite que distintos actores —la CCB, entidades distritales y gremios empresariales— activen el indicador más relevante para su ámbito de acción y lo actualicen con la periodicidad que sus propias fuentes de datos habilitan.

Referencias

- Bartlett, M. S. (1951). The effect of standardization on a chi-squared approximation in factor analysis. *Biometrika*, 38(3–4):337–344.
- Cliff, N. (1993). Dominance statistics: Ordinal analyses to answer ordinal questions. *Psychological Bulletin*, 114(3):494–509.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3):297–334.
- Cámara de Comercio de Bogotá (2024a). Encuesta a establecimientos de comercio en corredores estratégicos: Calle 13 y primera línea del metro. Technical Report Formulario 3224-PITA3, Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá D.C., Colombia. n = 2.105 establecimientos; submuestra PLM: n = 1.202.
- Cámara de Comercio de Bogotá (2024b). Encuesta de percepción y victimización bogotá 2024. Technical report, Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá D.C., Colombia. Muestra total: 26.064 encuestados. Submuestra PLM: 9.180.
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., and Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4(3):272–299.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., and Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning, Hampshire, UK, 8 edition.
- Hwang, C.-L. and Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3):187–200.
- Kaiser, H. F. (1970). A second generation little jiffy. *Psychometrika*, 35(4):401–415.

- MacKinnon, J. G. and White, H. (1985). Some heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimators with improved finite sample properties. *Journal of Econometrics*, 29(3):305–325.
- Mann, H. B. and Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1):50–60.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3):379–423.
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1):72–101.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, Reading, MA.