

## DESARROLLO ORIENTADO AL TRANSPORTE EN UNA RED FERROVIARIA METROPOLITANA EN TRANSICIÓN: EVALUACIÓN DE LOS ENTORNOS DE ESTACIONES DEL METRO VALPARAÍSO, CHILE

### TRANSIT-ORIENTED DEVELOPMENT IN A METROPOLITAN RAIL NETWORK IN TRANSITION: EVALUATING STATION AREAS IN METRO VALPARAÍSO, CHILE

Alejandro Cortés-Salinas<sup>1</sup>, Carlos Vielma López<sup>1</sup>, Daniel Moreno Alba<sup>2</sup>, Loreto Rojas-Symmes<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) constituye un instrumento central de la planificación urbana sostenible, aunque su aplicación en áreas metropolitanas incipientes con redes ferroviarias regionales presenta desafíos poco estudiados. Este trabajo evalúa la alineación de los entornos inmediatos de 13 estaciones del Metro Valparaíso, ubicadas en las comunas de Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana, con los principios del DOT. La investigación construye un índice DOT basado en cinco dimensiones del entorno urbano: densidad, diversidad de usos, diseño peatonal, proximidad y desempeño modal. Además, incorpora una evaluación de accesibilidad peatonal, calculada mediante isócronas de red vial con Network Analyst. El análisis integra las variables mediante componentes principales (PCA) y agrupamiento jerárquico, lo que permite identificar cinco grupos de estaciones con desempeños contrastantes, desde centralidades consolidadas hasta entornos de baja densidad y escasa integración funcional. Los resultados de accesibilidad evidencian disociaciones entre configuración física y conectividad efectiva, mostrando que altos niveles de densidad o mixtura de usos no garantizan un acceso peatonal adecuado. El estudio introduce las nociones de centralidades incompletas y estaciones funcionales sin sinergia morfológica para describir entornos donde la función de transporte y la forma urbana evolucionan de manera desacoplada. En contextos de fragmentación urbana y estructuras heredadas, el DOT demuestra mayor valor como marco diagnóstico que como modelo normativo rígido. La investigación reconoce limitaciones derivadas de la disponibilidad de datos y proyecta ampliar el análisis hacia otras líneas ferroviarias y escalas metropolitanas con el fin de evaluar su transferibilidad comparada.

**Palabras clave:** Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), transporte ferroviario, integración transporte y uso de suelo, accesibilidad urbana.

#### ABSTRACT

Transit-Oriented Development (TOD) is a key instrument in sustainable urban planning, although its implementation in nascent metropolitan areas served by regional rail networks presents challenges that remain little explored. This study evaluates the alignment of the immediate surroundings of 13 Metro Valparaíso stations, located in the municipalities of Viña del Mar, Quilpué, and Villa Alemana, with the principles of TOD. The research develops a TOD Index based on five dimensions of the urban environment: density, land-use diversity, pedestrian design, proximity, and modal performance. It also includes an assessment of pedestrian accessibility, calculated through street-network isochrones using Network Analyst. The analysis integrates these variables through Principal Component Analysis (PCA) and hierarchical clustering, enabling the identification of five distinct station groups with contrasting performance levels, ranging from consolidated centralities to low-density areas with limited functional integration. The accessibility results reveal mismatches between physical configuration and effective connectivity, indicating that high levels of density or land-use mix do not necessarily ensure adequate pedestrian access. The study introduces the notions of incomplete centralities and functionally active stations lacking morphological synergy to describe environments where transport function and urban form evolve in a decoupled manner. In contexts of urban fragmentation and inherited spatial structures, TOD proves more valuable as a diagnostic framework than as a rigid normative model. The research acknowledges limitations related to data availability and proposes extending the analysis to other railway lines and metropolitan scales to evaluate its comparative transferability.

**Keywords:** Transit-Oriented Development (TOD), railway transportation, Land use and transportation integration, urban accessibility.

<sup>1</sup>Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado.

<sup>2</sup>Dirección de Extensión y Servicios Externos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

\*Autor de correspondencia: [alcortes@uahurtado.cl](mailto:alcortes@uahurtado.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

La relación entre transporte, forma urbana y sostenibilidad constituye uno de los ejes más debatidos en los estudios urbanos y de movilidad (Cervero, 2013; Curtis et al., 2020; Knowles y Nikitas, 2025). La creciente complejidad de los patrones metropolitanos y la necesidad de reducir la dependencia del automóvil impulsan la búsqueda de modelos integradores que articulen densidad, diversidad y accesibilidad (Banister, 2018; Bertolini, 1999). En ese contexto, el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) emerge como una herramienta clave para vincular la planificación del uso de suelo con la provisión de transporte público, especialmente a través de redes de metro y sistemas BRT en grandes ciudades (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2022).

El enfoque DOT, concebido inicialmente como un modelo normativo de desarrollo urbano compacto (Calthorpe, 1993; Cervero et al., 2002), evoluciona hacia un instrumento de evaluación que diagnostica los grados de integración entre movilidad y estructura urbana (Deboosere et al., 2018; Lyu et al., 2016; Sing et al., 2014; Vale, 2015). Este carácter diagnóstico, más que prescriptivo, facilita su adaptación a contextos diversos y permite analizar cómo los principios del modelo se materializan —o fracasan— en entornos específicos. El estudio aborda el DOT desde esa perspectiva, como una matriz empírica sustentada en su dimensión analítica más que normativa, que permite observar las tensiones entre planificación formal e integración territorial efectiva.

A pesar del avance en estudios aplicados, la evidencia comparativa continúa concentrada en metrópolis consolidadas (Curtis & Low, 2016; Zhao et al., 2022). Los estudios que examinan redes ferroviarias regionales en ciudades intermedias siguen siendo escasos, especialmente en aquellas que transitan hacia una estructura metropolitana y combinan tramos históricos con intervenciones recientes. Esta brecha empírica limita la comprensión de cómo el ferrocarril articula procesos de densificación y sostenibilidad en regiones urbanas no capitalinas. El presente estudio se sitúa precisamente en ese vacío.

El caso de Metro Valparaíso ilustra esas tensiones. El sistema ferroviario metropolitano combina segmentos heredados con obras de modernización desarrolladas a inicios de los años 2000 —en el marco del Proyecto IV Etapa—, las cuales incluyen soterramiento de vías y renovación de estaciones. Esta doble condición —infraestructura en transición y soporte estructurante del Área Metropolitana de Valparaíso— permite observar contrastes espaciales en torno a los principios DOT y evaluar su grado de materialización en los entornos inmediatos de las estaciones.

El artículo evalúa el grado de alineación de los entornos de 13 estaciones del Metro Valparaíso con los principios DOT mediante un enfoque cuantitativo comparativo que integra indicadores de densidad, diversidad de usos, diseño peatonal, proximidad y desempeño modal. A partir de estos indicadores, el análisis construye un índice sintético e identifica tipologías territoriales mediante análisis de componentes principales (PCA) y agrupamiento jerárquico (*cluster analysis*). De forma complementaria, la investigación incorpora un análisis de accesibilidad peatonal basado en isócronas de red vial, con el fin de identificar brechas entre estructura física y conectividad efectiva.

El artículo desarrolla un marco conceptual del enfoque DOT y su pertinencia para analizar redes ferroviarias en ciudades intermedias o áreas metropolitanas emergentes. Luego describe la metodología y las variables que sustentan el índice. A continuación, presenta los resultados y las tipologías identificadas para el caso de Metro Valparaíso. La discusión examina el DOT como herramienta diagnóstica y extrae aprendizajes para la planificación en ciudades intermedias latinoamericanas; y cierra con conclusiones y líneas de investigación futura.

## 2. MARCO TEÓRICO

La evaluación del DOT en entornos ferroviarios de ciudades intermedias y áreas metropolitanas emergentes evidencia tensiones entre los principios normativos del enfoque y las dinámicas territoriales efectivamente observadas. Estudios recientes en América Latina y Europa muestran que la infraestructura ferroviaria —incluso cuando ha sido modernizada o reactivada— no garantiza por sí sola procesos de integración urbana, densificación ni transformación del entorno inmediato (Álvarez-Palau et al., 2016; Cervero, 2020; Ureña et al.,

2009). Resultados similares se han reportado para corredores de tren ligero en contextos norteamericanos, donde las transformaciones del entorno construido no siguen mecánicamente a la mejora modal (Hurst y West, 2014). Esta disociación entre red de transporte y forma urbana plantea el desafío de adaptar las herramientas de evaluación del DOT a contextos donde las estaciones funcionan como nodos funcionales, pero carecen de anclaje territorial efectivo.

En el contexto latinoamericano, diversas investigaciones dan cuenta que la reactivación o modernización de sistemas ferroviarios enfrenta condicionantes estructurales que limitan su capacidad de inducir transformación urbana. En Chile, los estudios sobre movilidad y planificación evidencian una débil articulación entre transporte e instrumentos territoriales, especialmente en regiones metropolitanas en transición (Fouré, 2022; Maturana, 2017; Muga & Rivas, 2009).

De forma similar, en países como Brasil y Colombia, la adopción de principios inspirados en el DOT muestra resultados heterogéneos debido a la fragmentación institucional y a las restricciones del mercado de suelo (Acosta et al, 2025; Hidalgo & Huizenga, 2013; Pereira et al, 2017). Estos antecedentes refuerzan la necesidad de una lectura situada del DOT en América Latina, donde la infraestructura ferroviaria y la planificación urbana evolucionan bajo marcos normativos dispares y capacidades locales desiguales.

Los estudios fundacionales del DOT parten de realidades metropolitanas consolidadas, con sistemas de transporte de alta capacidad planificados de forma simultánea a instrumentos de uso de suelo, políticas de vivienda y mecanismos de captura de valor (Cervero y Murakami, 2009; Curtis et al, 2009; Dittmar y Ohland, 2003; Knowles y Ferbrache, 2019). En estas condiciones, el DOT opera como un modelo normativo que estructura la urbanización en torno a principios como la densidad, la mezcla funcional, el diseño peatonal y la integración modal (Rodríguez y Vergel-Tovar, 2013). Sin embargo, Papa (2019) argumenta que su traslación a ciudades de menor escala requiere abandonar los supuestos de homogeneidad territorial y sustituirlos por evaluaciones empíricas capaces de registrar grados diferenciales de alineación con esos principios. Campos-Sánchez et al. (2019) refuerzan esta crítica al mostrar que los indicadores tradicionales pierden validez cuando se aplican de forma acrítica a redes ferroviarias en territorios fragmentados, con mercados de suelo poco dinámicos y baja capacidad de planificación integrada.

Entre las herramientas que permiten avanzar en esta dirección, destaca el modelo nodo-lugar propuesto inicialmente por Bertolini (1999). Este enfoque clasifica las estaciones según la tensión estructural entre su conectividad funcional (nodo) y la intensidad urbana del entorno inmediato (lugar). Su aplicación en ciudades como Beijing (Liao y Scheuer, 2022; Lyu et al., 2016), Tokio (Sung y Eom, 2024; Liu et al, 2022); Sydney (Wu et al, 2023) o Turín (Bonvino, 2019) ha permitido desarrollar tipologías empíricas de estaciones que combinan datos de red, diseño urbano y uso de suelo. Nigro, Bertolini y Moccia (2019) adaptan este modelo a ciudades pequeñas de Italia, demostrando su potencial para evaluar estaciones en contextos de baja densidad y gobernanza limitada, como ocurre también en ciudades intermedias latinoamericanas. Estas experiencias evidencian que muchas estaciones cumplen funciones de conectividad sin producir efectos estructurantes en su entorno inmediato, lo que obliga a tratar el desempeño territorial como una variable abierta y situada (Huang et al, 2018).

Complementariamente, la construcción de índices sintéticos de orientación al transporte se ha posicionado como un recurso metodológico ampliamente utilizado para la evaluación comparativa de entornos urbanos. Estos índices integran variables observables sobre densidad residencial y laboral, diversidad de usos, diseño peatonal, cercanía a destinos clave y conectividad modal (Pucci, 2019; Schlossberg y Brown, 2004). Campos-Sánchez et al. (2019) proponen un enfoque flexible para ciudades latinoamericanas, advirtiendo que el peso relativo de cada dimensión debe adaptarse a las condiciones locales, evitando una replicación mecánica del modelo TOD norteamericano. El uso de técnicas estadísticas como análisis de componentes principales (PCA) y clasificación jerárquica permite derivar tipologías empíricas basadas en agrupamientos, lo que resulta útil en sistemas con estructuras híbridas, como los trenes suburbanos modernizados.

Finalmente, varios autores sostienen que evaluar estaciones ferroviarias en contextos intermedios requiere incorporar también indicadores de accesibilidad peatonal como dimensión externa al índice DOT (Deboosere

et al, 2018; Papa y Bertolini, 2015; Vecchio, 2021). Esta incorporación permite observar brechas entre infraestructura modal y conectividad efectiva, especialmente en estaciones ubicadas en bordes urbanos, áreas residenciales cerradas o sectores con barreras físicas no resueltas. Desde esta perspectiva, el DOT deja de operar como receta normativa y se convierte en una herramienta diagnóstica que permite observar patrones territoriales disociados, identificar oportunidades de intervención y construir evidencia para orientar políticas urbanas en ciudades donde la planificación integrada aún se encuentra en construcción.

En el caso chileno, esta perspectiva adquiere especial relevancia ante la coexistencia de instrumentos de planificación de escala diversa y capacidades institucionales dispares entre regiones metropolitanas y ciudades intermedias (Cortés-Salinas, 2023; Napadensky & Orellana, 2019; Orellana et al, 2020). Así, la lectura situada del DOT permite interpretar las estaciones ferroviarias como artefactos urbanos que condensan tanto las limitaciones de la planificación integrada como las oportunidades para su reconfiguración.

### 3. MÉTODOS Y MATERIALES

Este estudio aplica una estrategia cuantitativa de carácter comparativo para evaluar el grado de alineación entre los entornos inmediatos de las estaciones del Metro Valparaíso y los principios del Desarrollo Orientado al Transporte (DOT). Para ello, el análisis construye un índice compuesto con variables estructurales y funcionales, integradas mediante estadística multivariada. De forma complementaria, incorpora una dimensión externa de accesibilidad peatonal para evaluar el desempeño territorial de las estaciones sin redundancias ni circularidades, a partir de información censal (Censo de Población y Vivienda 2017) y de transacciones y viajes desde y hacia las estaciones en estudio.

#### 3.1. Construcción del índice DOT y análisis multivariado

La unidad de análisis corresponde a 13 estaciones del tramo central del Metro Valparaíso en las comunas de Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana, sector transformado estructuralmente por el Proyecto IV Etapa (soterramiento y rediseño de estaciones a partir del año 2000). Cada estación fue analizada mediante buffers de 500 metros sobre red vial, lo que permite capturar condiciones reales de accesibilidad y forma urbana, en lugar de distancias euclidianas.

El análisis sistematiza 44 variables distribuidas en cinco dimensiones: densidad residencial y poblacional, diversidad de usos, diseño del entorno construido, proximidad a equipamientos y desempeño modal. Esta categorización dialoga con el enfoque DOT expuesto en secciones previas y se ajusta al contexto de ciudades intermedias y redes ferroviarias en transición.

La base de datos fue construida a partir de fuentes oficiales y catastros primarios, incluyendo el Censo de Población y Vivienda (2017), catastros municipales, DTPR (2018), SEREMI MINVU y catastro en terreno (2022). El levantamiento se realiza a nivel de manzana o predio según el indicador. Todas las variables se estandarizan previamente (z-score) para evitar distorsiones por escala o magnitud. La Tabla 1 presenta el listado completo de variables, definiciones y escalas de recopilación.

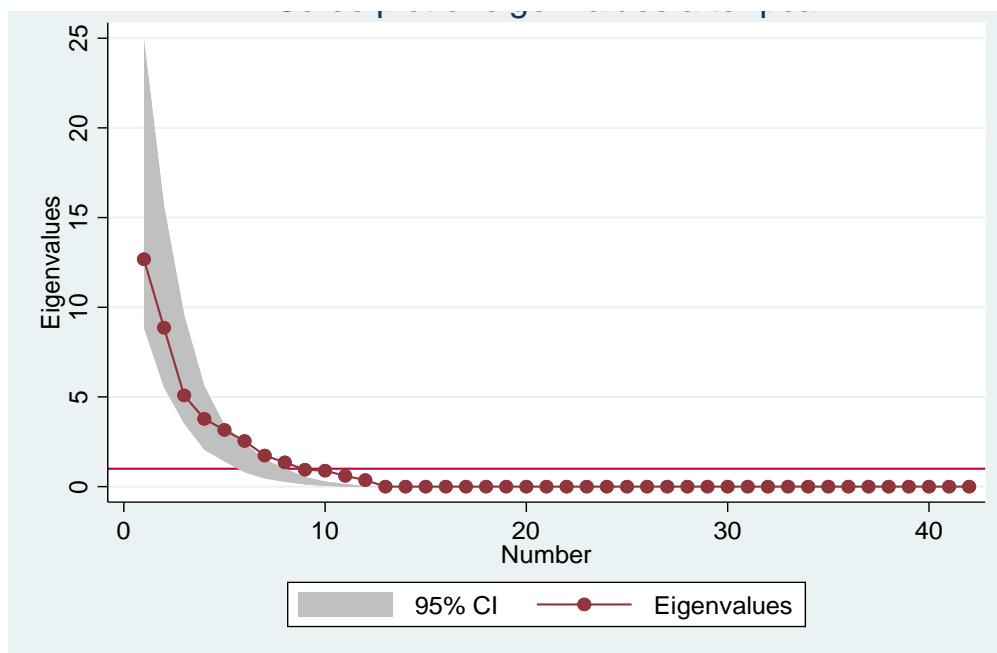
**Tabla 1.** Variables, definiciones y escala geográfica de recopilación de la información. Fuente: Propia

Variable	Definición	Escala de recolección datos	Fuente
Establecimientos de educación multinivel	Cantidad de establecimientos de educación que desarrollan más de un nivel (preescolar, básica y/o media)	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Establecimientos de educación preescolar	Cantidad de jardines infantiles	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Establecimientos de	Cantidad de colegios	Manzana	Catastro en terreno +

Variable	Definición	Escala de recolección datos	Fuente
educación media			Base INE Dato Vecino
Establecimientos de educación superior	Cantidad de centros de formación técnica, institutos profesionales y/o universidades	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Establecimientos de educación especial	Cantidad de establecimientos reconocidos por el MINEDUC que desarrollan su acción de manera transversal en distintos niveles educativos	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Centros de atención en salud primaria	Cantidad de postas, SAPU, CESFAM	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Centros de atención en salud secundaria	Cantidad de COSAM, CECOSF	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Centros de atención en salud terciaria	Cantidad de hospitales y clínicas	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Bienes y servicios de uso público	Cantidad de cajeros automáticos, estaciones de bomberos, carabineros (policía), supermercados, librería, bibliotecas, Policía de Investigaciones (PDI), bicicleteros y estación de Scooter eléctricos de uso público.	Manzana	Catastro en terreno + Base INE Dato Vecino
Patentes comerciales	Número de permisos necesarios para realizar cualquier actividad comercial de carácter secundaria o terciaria	Manzana	Servicio de Impuestos Internos, 2022
Plazas públicas	Área verde pública caracterizada por la presencia de vegetación con equipamiento, que permite la interacción social y actividades recreativas y que tiene una superficie de 450m <sup>2</sup> y menos de 20.000m <sup>2</sup>	Manzana	Catastro en terreno
Parque público	Área verde de libre acceso a la población destinadas a la recreación activa y pasiva de un grupo de barrios y que tiene una superficie de 20.000m <sup>2</sup> o más	Manzana	Catastro en terreno
Total de viviendas	Número de construcciones, adaptadas o dispuestas para el alojamiento de personas	Manzana	Censo 2017, INE
Total de hogares	Número de viviendas donde residen la mayoría de las personas y se caracterizan por poseer un acceso independiente.	Manzana	Censo 2017, INE
Total de viviendas tipo casa	Unidades de vivienda unifamiliar estructuralmente separada e independiente.	Manzana	Censo 2017, INE
Total de viviendas tipo departamento	Unidades de vivienda en construcciones de edificio, multifamiliar	Manzana	Censo 2017, INE

Variable	Definición	Escala de recolección datos	Fuente
Densidad de viviendas	Relación entre el número total de viviendas por manzana y la superficie en hectáreas por manzana	Manzana	Censo 2017, INE
Densidad de población	Relación entre la población total por manzana y la superficie en hectáreas por manzana	Manzana	Censo 2017, INE
Comercial	% de segmentos con uso comercial	Predio	Catastro en terreno
Industrial	% de segmentos con uso industrial	Predio	Catastro en terreno
Residencial unifamiliar	% segmentos con uso de suelo residencial unifamiliar	Predio	Catastro en terreno
Residencial multifamiliar	% segmentos con uso de suelo residencial multifamiliar	Predio	Catastro en terreno
Mixto: Industrial-comercial	% segmentos con usos industrial-comercial	Predio	Catastro en terreno
Vacante	% segmentos con uso vacante	Predio	Catastro en terreno
Institucional	% segmentos con uso institucional	Predio	Catastro en terreno
Verde	% segmentos con espacios verdes	Predio	Catastro en terreno
Número de paradas de transporte público	Número de puntos de detención de servicios de buses urbanos de transporte público que cuentan con al menos una señal, refugio y/o demarcación en la calzada	Estación	Catastro en terreno
Número de predios destinado a estacionamiento privado	Cantidad de predios colindantes o a máximo 100m con uso exclusivo de estacionamiento	Predio	Catastro en terreno
Presencia de ciclovía	Presencia de vías destinadas al uso exclusivo de bicicletas y otros ciclos	Estación	Catastro en terreno
Total de rutas de transporte público	Número de recorridos de buses urbanos que circulan fuera de la estación (hasta 100m)	Estación	DTPR, 2018
Total de rutas de taxi colectivo	Número de recorridos de taxis colectivos que circulan fuera de la estación (hasta 100m)	Estación	SEREMI Región de Valparaíso, 2018
Calidad de las aceras	Calidad de pavimento de veredas, obtenido desde el Pre-censo 2011- INE	Manzana	Pre-censo 2011, INE
Total de transacciones de metro Valparaíso	Número total de transacciones realizadas durante el mes de junio de 2022	Estación	Metro Valparaíso

El análisis descarta variables con varianza cero y registros incompletos. Posteriormente, aplica un Análisis de Componentes Principales (PCA) sin rotación, tras estandarizar todas las variables (z-score). El criterio Kaiser ( $>1$ ) justificaría la retención de ocho componentes; no obstante, el estudio retiene doce en función de la varianza acumulada y la interpretabilidad de dimensiones minoritarias, apoyado en el gráfico de sedimentación (Figura 1).



**Figura 1.** Gráfico de pantalla de los valores propios posterior al análisis de componentes principales. Fuente propia.

La retención de doce componentes se justifica por su aporte combinado en varianza explicada e interpretabilidad del conjunto de variables. Los primeros ocho componentes explican el 93,33 % de la varianza total (Tabla 2), mientras que las cuatro dimensiones adicionales incorporan el 6,67 % restante, asociado a variaciones de menor covariancia entre indicadores. Conservar estas dimensiones preserva la diversidad interna de las cinco categorías del índice DOT —densidad, diversidad, diseño, proximidad y desempeño modal— y evita pérdida de información territorial en aspectos específicos del entorno urbano. Esta decisión equilibra parsimonia estadística e interpretabilidad geográfica, en línea con estudios que integran múltiples dimensiones urbanas en la evaluación de estaciones y sus entornos (Vale, 2015; Pucci, 2019).

**Tabla 2.** Resumen del Análisis de Componentes Principales (PCA, en inglés). Fuente propia.

Componente	Eigenvalor	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	12,67712	3,8165	0,3018	0,3018
2	8,86062	3,77467	0,211	0,5128
3	5,08595	1,30497	0,1211	0,6339
4	3,78098	0,61828	0,09	0,7239
5	3,1627	0,61677	0,0753	0,7992
6	2,54594	0,81148	0,0606	0,8598
7	1,73446	0,38204	0,0413	0,9011
8	1,35242	0,41056	0,0322	0,9333
9	0,94185	0,05068	0,0224	0,9558
10	0,89118	0,29026	0,0212	0,977
11	0,60092	0,23506	0,0143	0,9913
12	0,36586	0,36586	0,0087	1

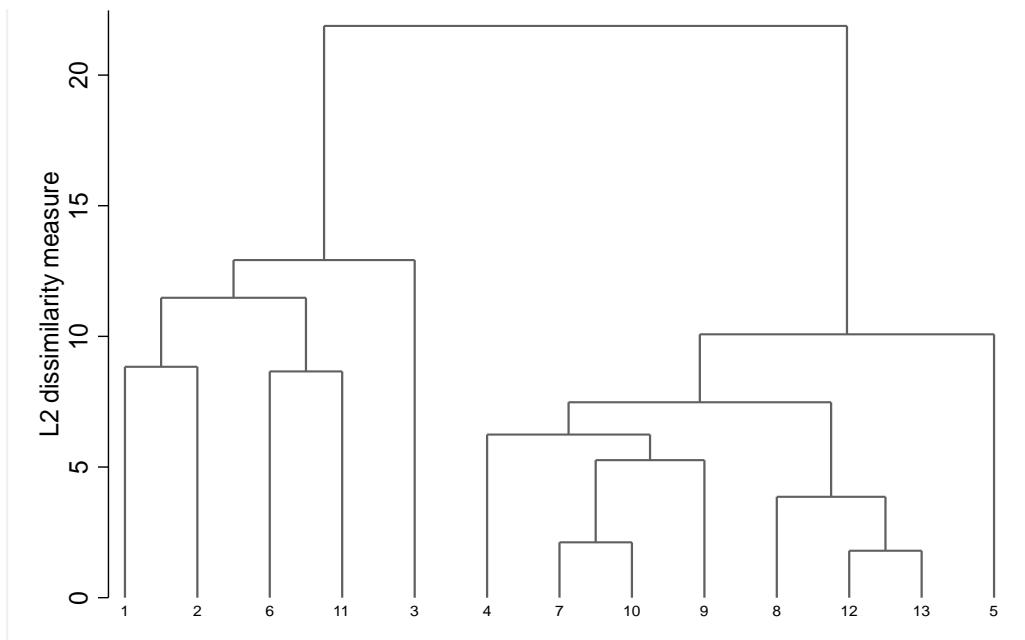
Como verificación, el estudio explora soluciones con 8–10 componentes sin alteraciones sustantivas en la

tipología. Sobre los puntajes de componentes se ejecuta un clúster jerárquico de Ward (distancia euclídea). Los criterios de Calinski-Harabasz y Duda-Hart sugieren una agrupación en cinco clústeres (Tabla 3).

**Tabla 3.** Resultado del análisis de número óptimo de clústeres. Fuente propia.

Nº clúster	Duda/Hart	
	Je (2) / Je (1)	Pseudo T-squared
1	0.7086	4.52
2	0.6275	1.78
3	0.5443	1.67
4	0.6007	3.99
5	0.0000	*
6	0.0000	*
7	0.6440	2.76
8	0.4485	2.46
9	0.1486	5.73
10	0.1879	4.32
11	0.0000	*

El número de conglomerados se define por consenso entre Calinski-Harabasz, Duda-Hart y el codo del dendrograma de Ward, y converge en  $K = 5$  por parsimonia e interpretabilidad (Figura 2). Soluciones con  $K$  mayores muestran atomización sin ganancia analítica. Pruebas de sensibilidad (normalización alternativa y perturbaciones menores en las variables) no alteran la asignación principal de estaciones.



**Figura 2.** Dendrograma para el análisis de conglomerados. Fuente propia.

Bajo esta organización, el análisis de entornos por conglomerado se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Identificación de estaciones por clúster. Fuente propia.

Clúster	1	2	3	4	5
Nº estaciones	2	2	1	7	1
Nombre de estaciones	Miramar, Viña del Mar	Quilpué, Villa Alemana	Hospital	Chorrillos, El Sol, La Concepción, Las Américas, El Belloto, Sargento Aldea, Peñablanca	El Salto

### 3.2. Evaluación de accesibilidad peatonal y uso de la red según tipologías de estación

El análisis incorpora la accesibilidad peatonal como dimensión externa al índice DOT para identificar brechas entre infraestructura modal y cobertura territorial efectiva y evitar circularidades analíticas. La accesibilidad peatonal se mantiene como dimensión externa con el propósito de asegurar independencia estadística y conceptual. Ninguna de las cuarenta y cuatro variables integradas en el PCA incorpora métricas de red, distancia o tiempo; estas métricas se modelan exclusivamente mediante isócronas en la etapa de accesibilidad. Esta separación metodológica evita redundancias y permite contrastar la estructura física del entorno —descrita por el índice DOT— con su conectividad efectiva —estimada a través de la red vial—. Un control exploratorio de correlaciones verifica la autonomía analítica de los indicadores de accesibilidad respecto de los componentes retenidos.

El estudio modela isócronas de 5 y 10 minutos a pie desde cada estación, con *Network Analyst* de ArcGIS y la red vial provista por el INE (2018). Estas áreas de servicio permiten estimar la cobertura efectiva no motorizada en términos de viviendas y población residente, a partir del Censo 2017 a nivel de manzana.

El análisis contrasta el uso efectivo del sistema con dos fuentes: la Encuesta Origen-Destino del Gran Valparaíso (EOD 2014), que reporta viajes diarios por estación y distingue subidas y bajadas, y el promedio de transacciones de ocho días basado en registros de validación en torniquetes reportado en el estudio de Actualización del Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano del Gran Valparaíso, Etapa I (SECTRA, 2016).

A partir de ambas fuentes, el estudio estima subidas y bajadas promedio por estación y deriva un índice de direccionalidad (DI) que resume la orientación funcional de cada estación:

$$DI = \text{Bajadas} / (\text{Subidas} + \text{Bajadas})$$

Valores cercanos a 0,5 indican equilibrio entre subidas y bajadas; valores mayores reflejan predominio de bajadas (atracción) y valores menores, predominio de subidas (emisión).

Finalmente, el análisis agrega indicadores de accesibilidad y flujos según los cinco clústeres construidos mediante el índice DOT y el análisis jerárquico, a fin de comparar magnitudes absolutas y proporciones internas entre tipologías de estación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Síntesis comparativa de clústeres

El análisis tipológico distingue cinco configuraciones urbanas diferenciadas en los entornos inmediatos de las estaciones del Metro Valparaíso estudiadas (Tabla 5). Las centralidades metropolitanas (Clúster 1) combinan alta densidad residencial, amplia mixtura funcional y conectividad modal robusta. Los núcleos comunales (Clúster 2) presentan baja compacidad urbana, pero mantienen conectividad intercomunal sostenida por su rol articulador entre comunas. El nodo institucional (Clúster 3) equilibra densidad intermedia con una alta concentración de equipamientos de salud y educación, que generan una población flotante significativa y alta

atracción modal. Los entornos periféricos fragmentados (Clúster 4) exhiben densidad media y mixtura funcional limitada, mientras que la estación aislada (Clúster 5) combina baja densidad con usos industriales y logísticos, vinculados a desplazamientos laborales.

**Tabla 5** Resumen comparativo de clústeres (densidad, mezcla de usos, conectividad, accesibilidad y flujos). Fuente propia.

Clúster	Densidad residencial (aprox.)	Mezcla de usos (síntesis)	Conectividad modal	Accesibilidad 10 min (población)	Transacciones promedio (8 días)	DI promedio
1. Centralidades metropolitanas	Alta (200–300 Hab/ha)	Alta: comercio, educación, cultura, recreación	Robusta	12.080	23.177	0,52
2. Núcleos comunales	Baja (<60 Hab/ha)	Media: comercio local y servicios cotidianos	Intercomunal	4.064	23.912	0,54
3. Nodo institucional	Intermedia (~100 Hab/ha; picos locales altos)	Alta: equipamientos de salud y educación	Alta	8.849	2.769	0,49
4. Periféricos fragmentados	Media (~100 Hab/ha)	Baja–media; presencia de industrias y vacantes	Media; heterogénea	18.813	16.796	0,46
5. Estación aislada	Muy baja / nula	Industrial–logística	Específica al polo productivo	0	956	0,52

La comparación transversal confirma que los contrastes más relevantes se concentran en la interacción entre densidad, mezcla de usos y conectividad. Los clústeres con mayor compacidad y diversidad funcional (1 y 3) exhiben un desempeño superior en accesibilidad y uso efectivo del sistema, mientras que aquellos con densidad sin mixtura (4 y 5) muestran rendimientos más débiles o dependientes de funciones específicas. Esta lectura panorámica orienta la interpretación detallada de cada grupo de estaciones en los apartados siguientes.

#### 4.2 Análisis de clúster y tipos de estaciones

Los resultados del índice DOT y del análisis clúster jerárquico permiten distinguir cinco configuraciones urbanas diferenciadas en los entornos inmediatos a las estaciones del Metro Valparaíso. Estas tipologías reflejan combinaciones específicas de atributos estructurales y funcionales asociados a las dimensiones del enfoque

de las 5D, en particular: densidad residencial, diversidad de usos, y proximidad a destinos estratégicos. Las agrupaciones identificadas permiten contrastar centralidades consolidadas, núcleos intermedios, nodos institucionales y sectores periféricos fragmentados<sup>1</sup>.

#### 4.2.1 Clúster 1: Centralidades urbanas consolidadas

Este grupo se caracteriza por densidades habitacionales altas (200–300 Hab/ha), con predominio de desarrollos multifamiliares y una oferta destacada de servicios urbanos. Sus entornos concentran equipamientos de uso cotidiano y especializados —comerciales, educacionales, culturales y recreativos—, lo que favorece una elevada mixtura de usos del suelo y una conectividad modal robusta, consolidando centralidades metropolitanas en línea con los principios DOT.

Ambas estaciones (Figuras 3 y 4) se localizan en una de las centralidades ancla del Gran Valparaíso, respaldada por normativas urbanas que incentivan la renovación funcional y la integración de usos. En estos entornos, las cinco dimensiones DOT se manifiestan de manera articulada: alto volumen de pasajeros, presencia de instalaciones públicas e institucionales, densidad residencial multifamiliar elevada y regulaciones que promueven la complementariedad de actividades urbanas.

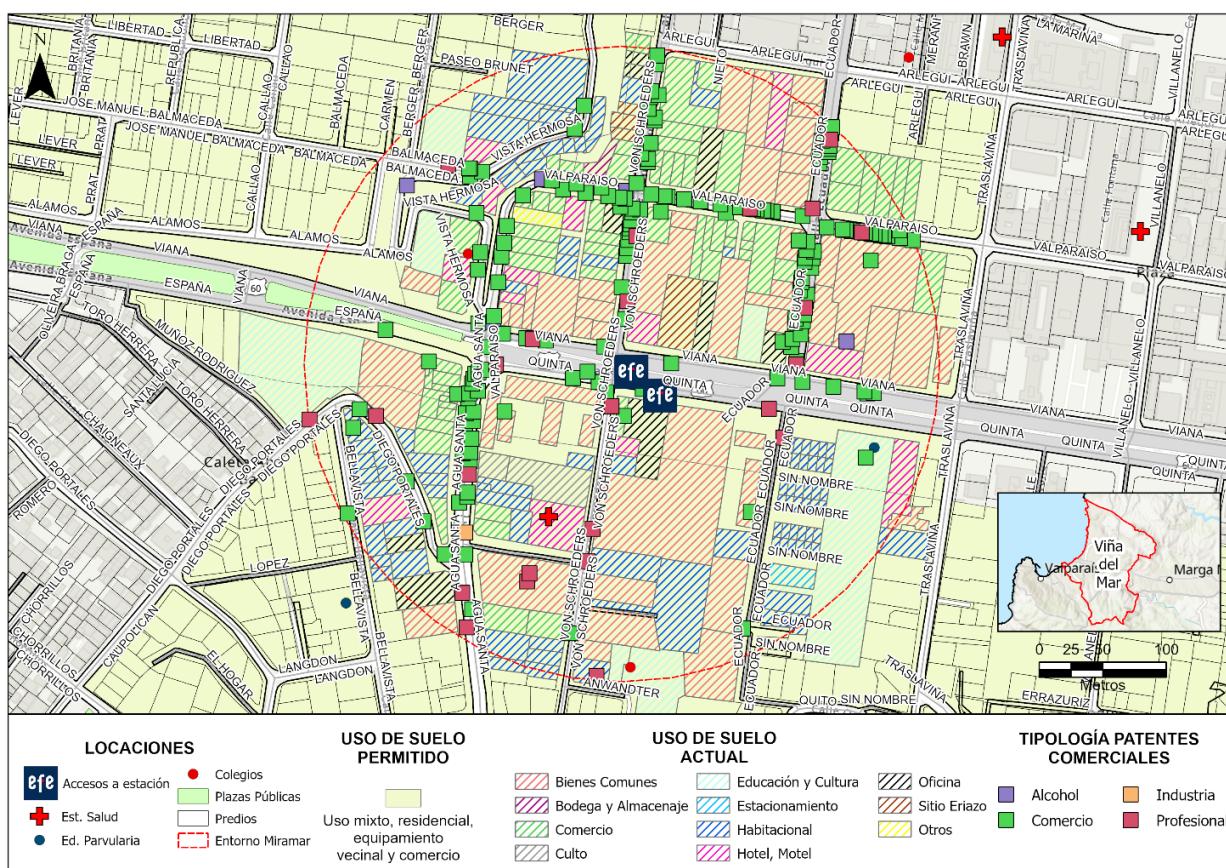
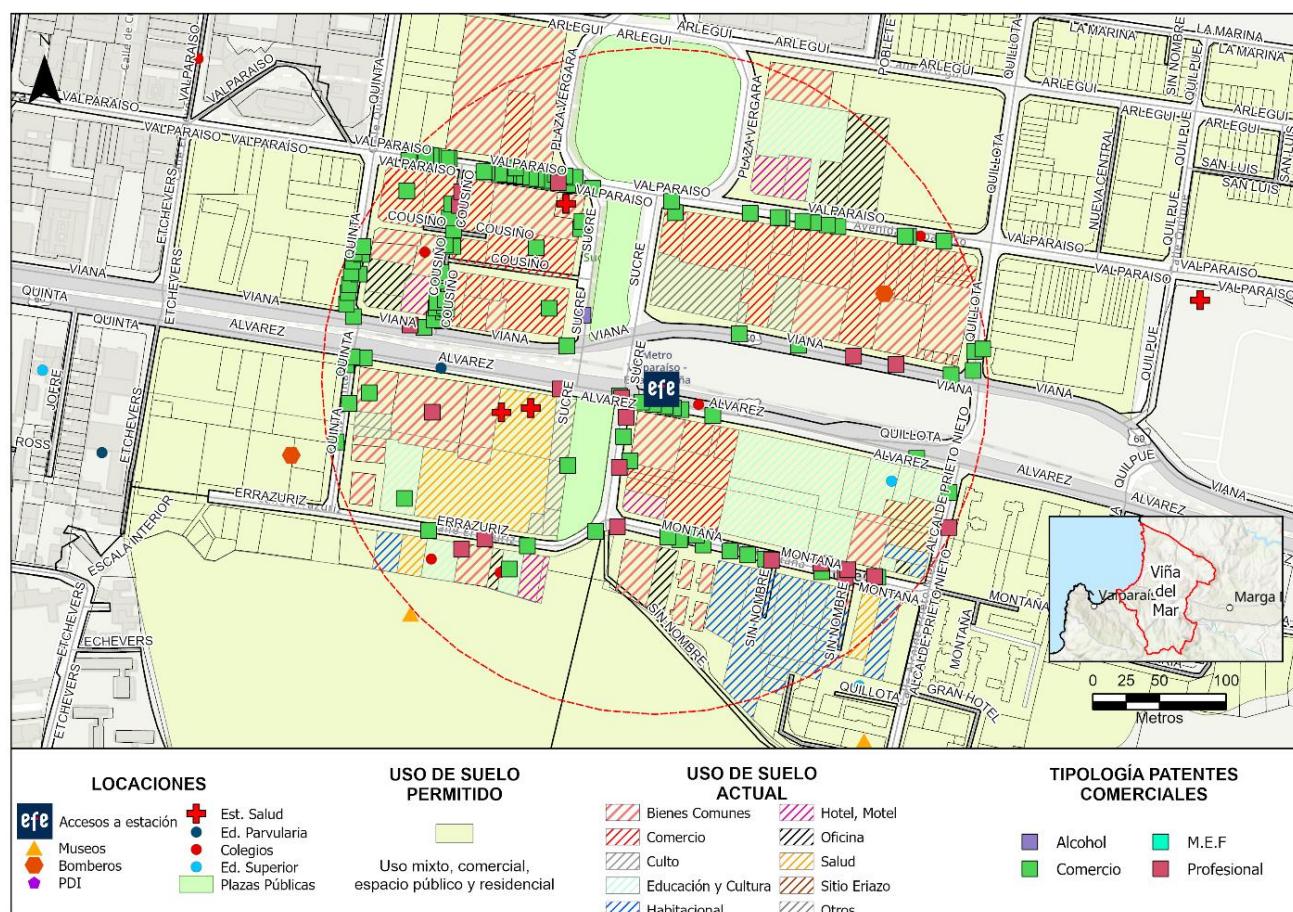


Figura 3 Actividades y uso de suelo estación Miramar. Fuente propia.

<sup>1</sup> El detalle del cálculo de promedios de variables DOT por clúster de estación se encuentra expuesto en Cortés-Salinas (2023).

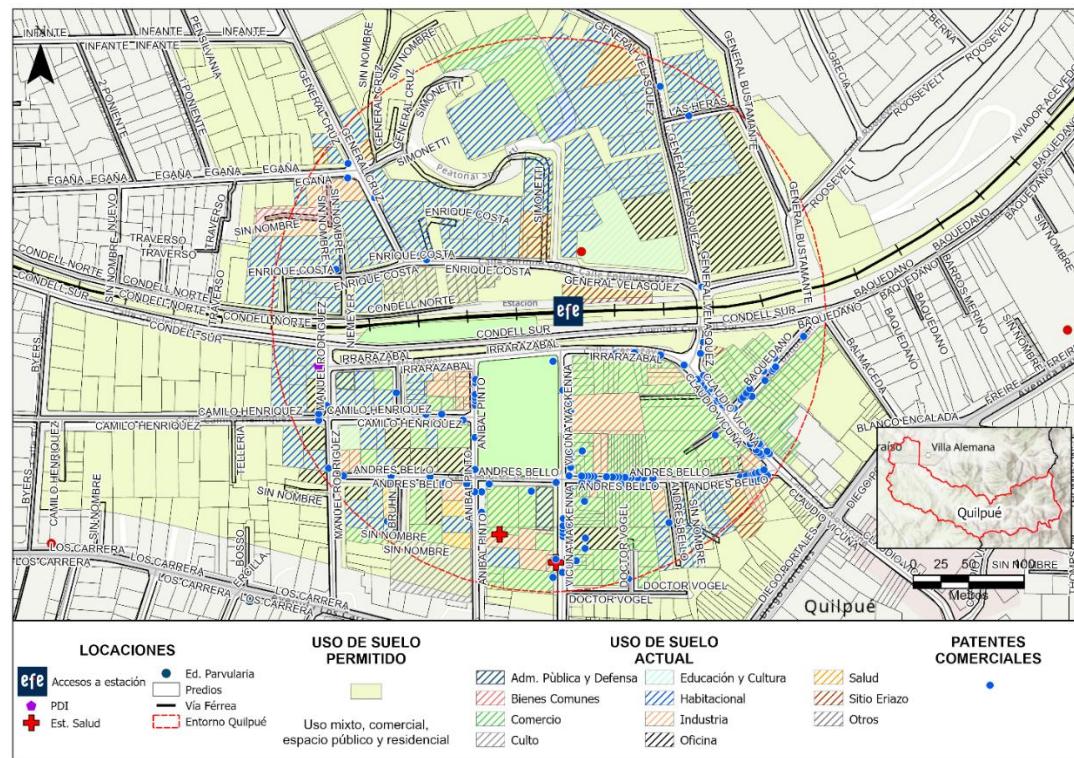


**Figura 4** Actividades y uso de suelo estación Viña del Mar. Fuente propia.

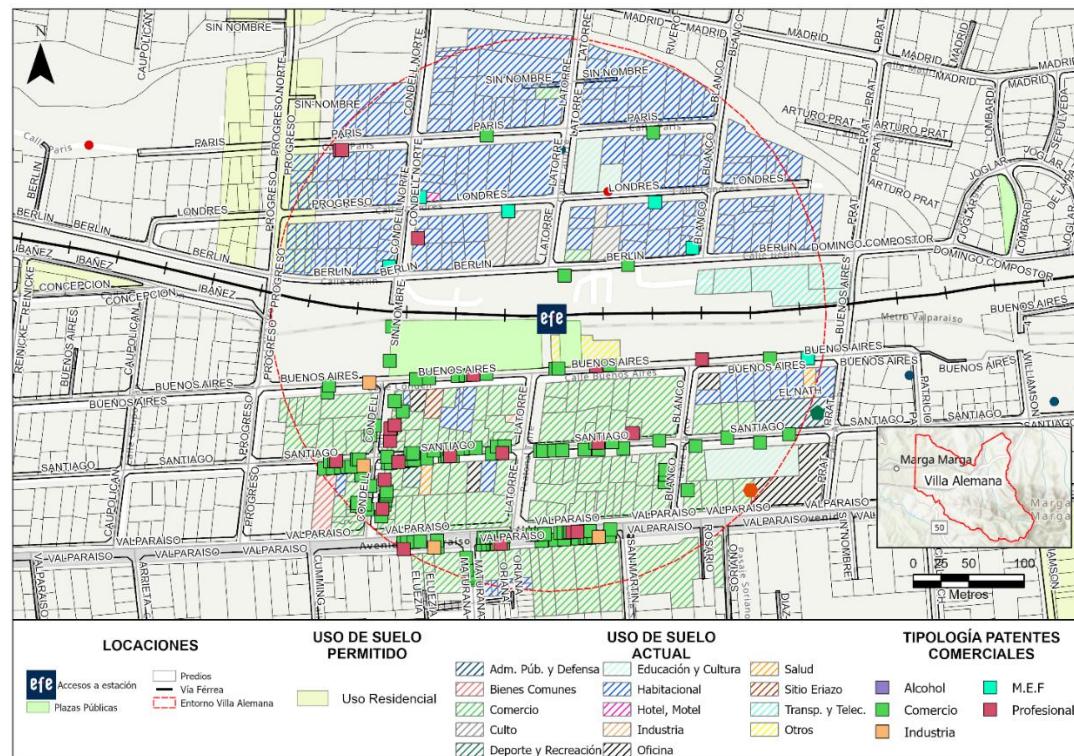
#### 4.2.2 Clúster 2: Núcleos comunales en vías de consolidación

En comparación con las centralidades metropolitanas, este clúster presenta menor compacidad, pero mantiene flujos elevados gracias a su conectividad intercomunal. Este clúster presenta densidades residenciales bajas ( $<60$  hab/ha) y alta presencia de comercio de escala local, junto con equipamientos de uso cotidiano (supermercados, farmacias y establecimientos educacionales). Registra accesibilidad peatonal adecuada y conectividad modal aceptable; no obstante, la diversidad funcional es menor que la observada en las centralidades metropolitanas y la oferta comercial de escala metropolitana es limitada.

Corresponde a centralidades de escala comunal con potencial de fortalecimiento, en coherencia con la tipología de centralidades propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo para el Gran Valparaíso (2015), la cual identifica al centro de Viña del Mar como centralidad ancla y a los centros de Quilpué y Villa Alemana como centralidades comunales. Las oportunidades de consolidación se articulan con instrumentos de planificación territorial recientes: el Plan Regulador Comunal de Quilpué (2019) y su Plan de Desarrollo Comunal orientan el fortalecimiento de su centralidad como atractor de actividades comerciales y de servicios intra e intercomunal (Villa Alemana, Limache y Olmué). En el caso de Villa Alemana, el objetivo es concentrar su centro como un entorno fortalecido de servicios comunales (Figuras 5 y 6).



**Figura 5.** Actividades y uso de suelo estación Quilpué. Fuente propia



**Figura 6.** Actividades y uso de suelo estación Villa Alemana. Fuente propia.

#### 4.2.3 Clúster 3: Nodo institucional especializado

A diferencia de los clústeres 1 y 2, este entorno combina densidad intermedia con una concentración institucional que explica su atracción modal. Este clúster corresponde exclusivamente al entorno de la estación Hospital en Viña del Mar (Figura 7) y se caracteriza por una configuración singular dominada por equipamientos institucionales. Concentra servicios de salud —incluido el hospital principal de la ciudad— y una amplia oferta educacional en distintos niveles, lo que se traduce en una alta concentración de destinos urbanos y una significativa población flotante, factores que refuerzan su conectividad modal y su condición de centralidad metropolitana.

En términos residenciales, presenta una densidad promedio de 100 Hab/ha, con manzanas que alcanzan hasta 932 Hab/ha, las más altas del sistema. Esta configuración se explica por el proceso de renovación urbana desarrollado tras el soterramiento ferroviario a inicios de la década de 2000, que promovió la combinación de vivienda en altura con equipamientos comerciales, oficinas y servicios de salud de alcance metropolitano.

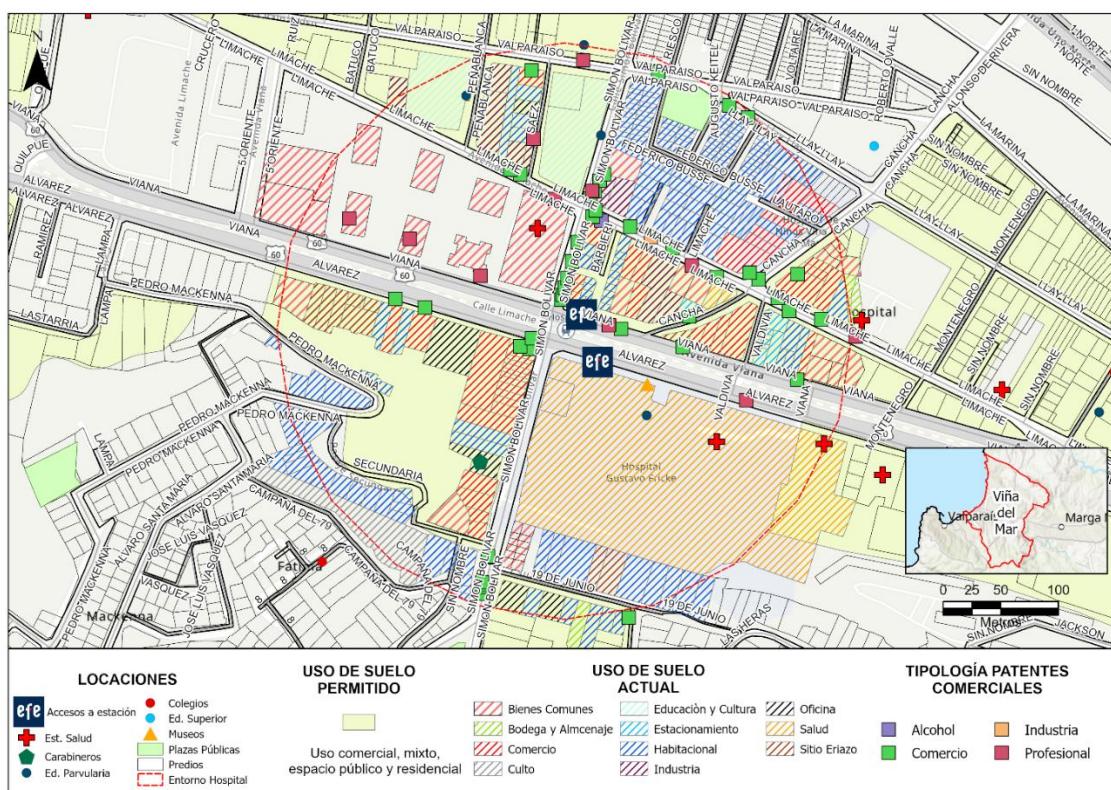


Figura 7. Actividades y uso de suelo estación Hospital. Fuente propia.

#### 4.2.4 Clúster 4: Entornos periféricos con fragmentación funcional

En contraste con las tipologías centrales (1–3), estos entornos muestran densidad media con mixtura funcional limitada y desempeño heterogéneo. Este clúster agrupa la mayor cantidad de estaciones, principalmente en las comunas de Quilpué y Villa Alemana. Se localizan en áreas de densidad media (en torno a 100 hab/ha), con un claro predominio de viviendas unifamiliares y una baja proporción de servicios estratégicos, equipamientos culturales e institucionales. La diversidad funcional es reducida y persisten usos de suelo poco compatibles con un entorno DOT, tales como actividades industriales o predios vacantes.

Estos entornos evidencian condiciones físicas heterogéneas (Figuras 8, 9, 10 y 11), reflejo de una urbanización

fragmentada y procesos de consolidación incompletos. Si bien algunos casos registran mejoras recientes en infraestructura vial o accesibilidad, su desempeño global continúa siendo limitado.

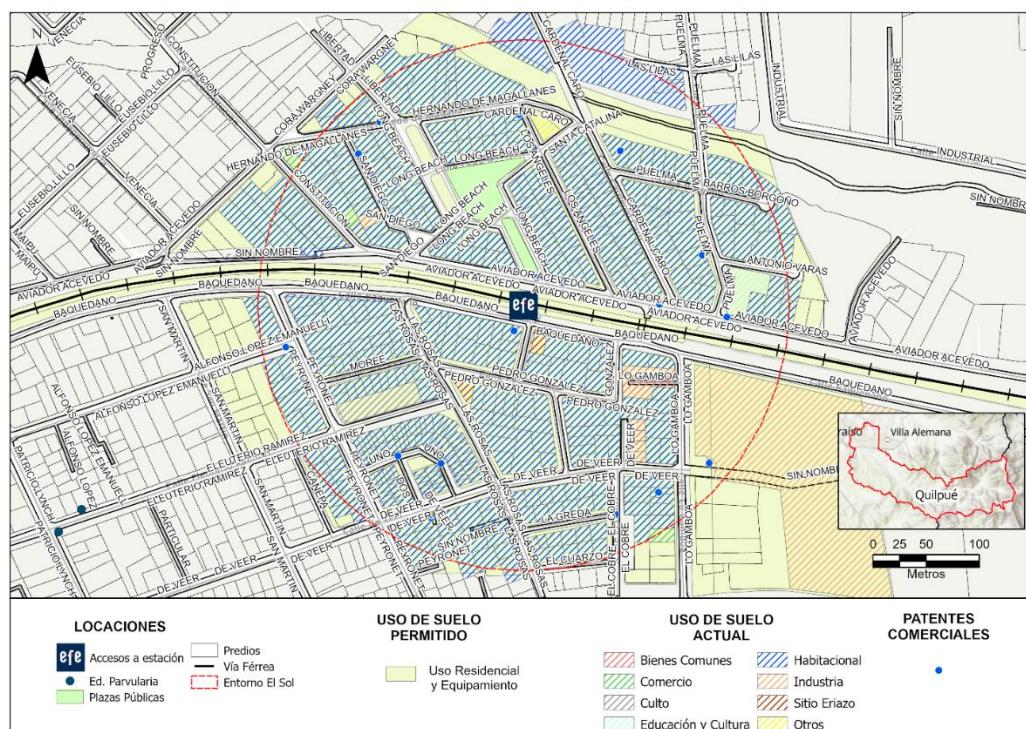


Figura 8. Actividades y uso de suelo estación El Sol. Fuente propia.

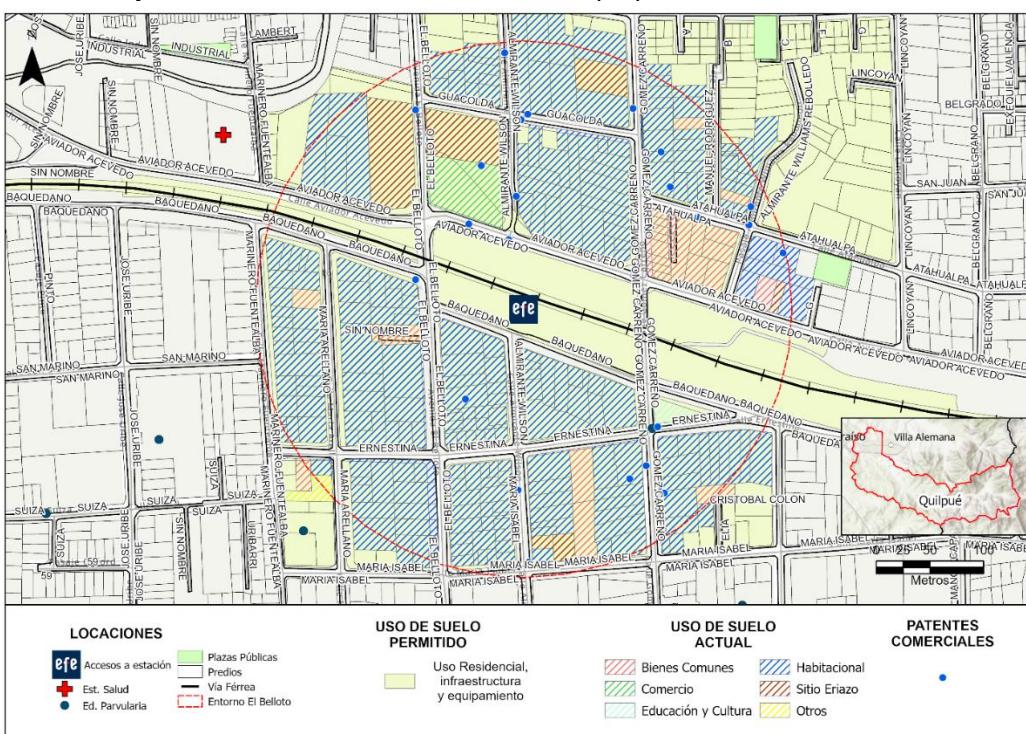


Figura 9. Actividades y uso de suelo estación El Belloto. Fuente propia.

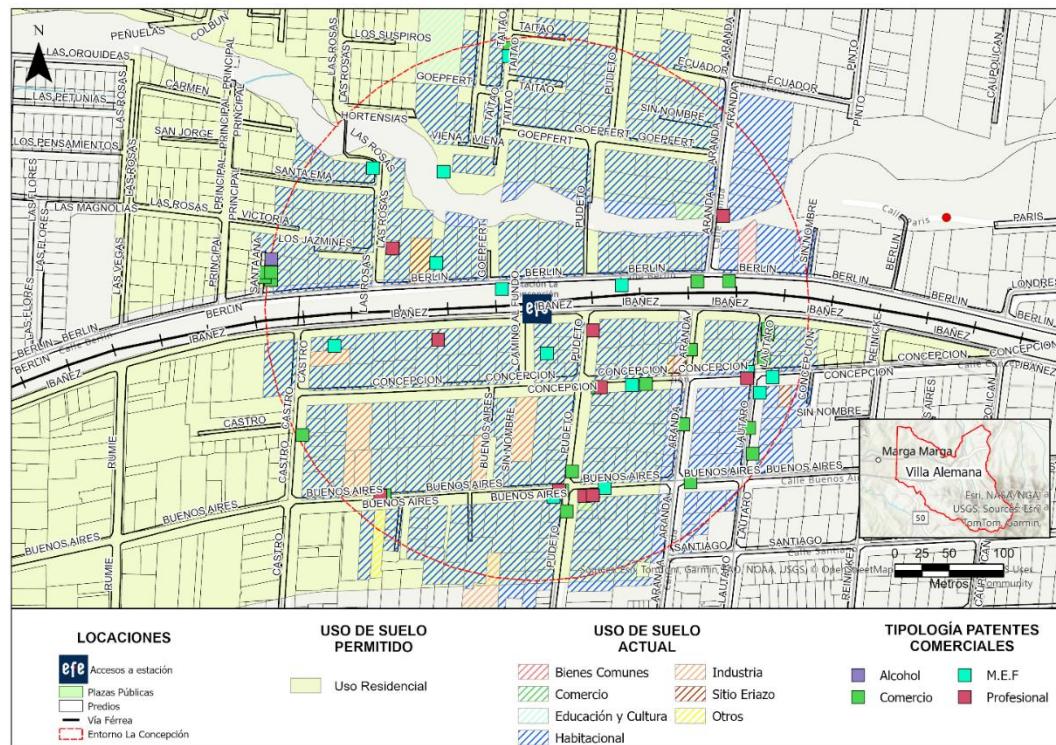


Figura 10. Actividades y uso de suelo estación La Concepción. Fuente propia.

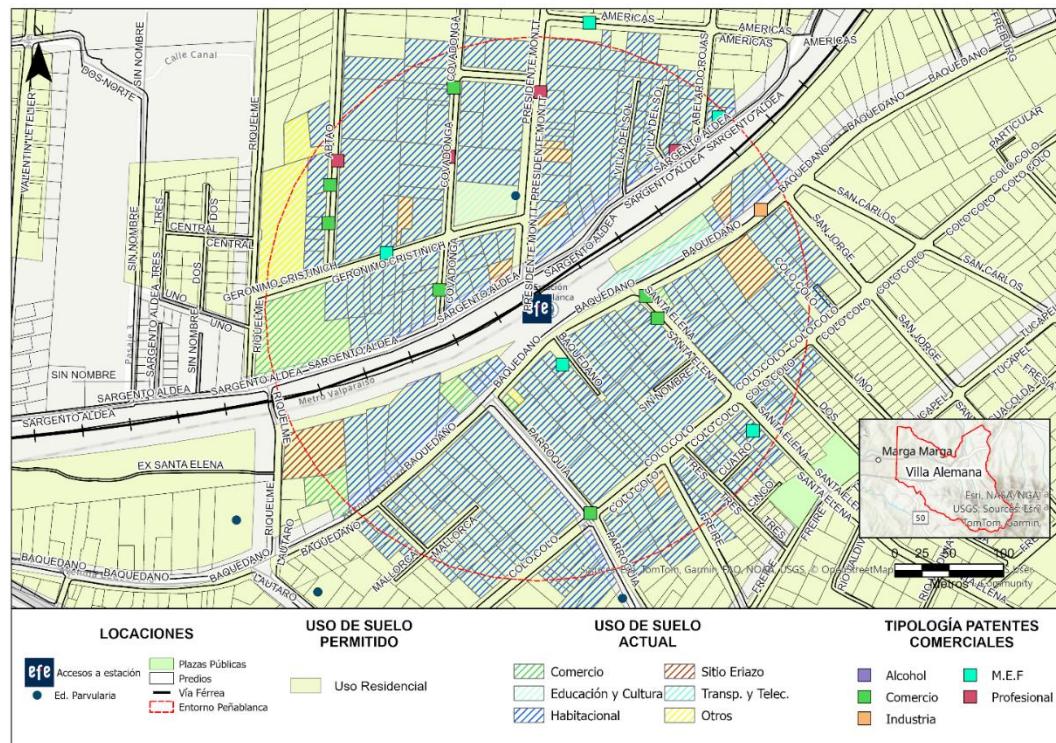


Figura 11. Actividades y uso de suelo estación Peñablanca. Fuente propia.

#### 4.2.5 Clúster 5: Estación aislada de bajo desempeño territorial

En el extremo opuesto de las centralidades consolidadas, esta estación reúne baja densidad y usos industriales que condicionan su funcionamiento. Este clúster corresponde al entorno de la estación El Salto (Figura 12), que presenta la menor densidad del sistema y está dominado por usos industriales y logísticos. Carece de vivienda y de una oferta significativa de comercio o servicios de uso cotidiano, ausencia de mixtura funcional y escasa dotación de equipamientos urbanos.

Si bien actualmente no reúne condiciones compatibles con un entorno DOT, se perfila como espacio de reconversión estratégica ante un eventual rol futuro como estación terminal y de combinación para servicios ferroviarios interregionales. No obstante, esta transformación proyectada aún no se materializa ni se refleja en la configuración urbana existente.



Figura 12. Actividades y uso de suelo estación El Salto. Fuente propia.

Estos contrastes tipológicos enmarcan el análisis de accesibilidad y uso del sistema Metro Valparaíso que se presenta a continuación.

#### 4.3 Accesibilidad peatonal y uso de la red según tipologías de estación

El contraste entre accesibilidad peatonal y flujos de viajes evidencia cómo la estructura urbana condiciona la conversión de accesibilidad potencial en uso efectivo del sistema. Las variables de población y viviendas cuantifican la magnitud de habitantes con acceso en tiempos de 5 y 10 minutos sobre la red vial (Tabla 6), mientras que los datos de uso corresponden a la Encuesta Origen-Destino del Gran Valparaíso (2014) y a

validaciones de torniquetes (promedio de ocho días, 2016) procesadas por SECTRA. La comparación tiene un carácter estructural, orientado a identificar patrones entre accesibilidad y uso, más que una correspondencia estricta en el tiempo de medición.

En algunos casos, como Quilpué, los valores nulos en las isócronas de cinco minutos no reflejan ausencia de población censal, sino la existencia de barreras urbanas (trazado ferroviario, accesos controlados o discontinuidades peatonales) que restringen la conectividad inmediata. La topología de la red fue verificada, manteniendo estos valores como expresión del acceso real y no de una cobertura teórica.

**Tabla 6.** Accesibilidad peatonal por estación a 5 y 10 minutos. Fuente Propia con base en Censo 2017.

Estación	Población		Viviendas	
	5 min	10 min	5 min	10 min
Miramar	2.874	7.613	1.961	4.643
Viña del Mar	598	4.467	420	2.650
Hospital	3.117	8.849	1.946	4.431
Chorrillos	151	3.964	48	1.515
El Salto	0	0	0	0
Quilpué	0	2.017	0	850
El Sol	387	1.971	157	771
El Belloto	332	2.514	114	873
Las Américas	480	3.927	158	1.364
La Concepción	526	1.881	170	653
Villa Alemana	443	2.047	176	761
Sargento Aldea	413	2.634	150	945
Peñablanca	264	1.922	101	702

En las centralidades metropolitanas (Clúster 1: Miramar y Viña del Mar), la compacidad urbana y la mixtura de usos se traducen en altos niveles de accesibilidad y en volúmenes de bajadas significativos. Estas estaciones concentran servicios de escala regional y operan como nodos de atracción que superan la población residente.

Las centralidades comunales (Clúster 2: Quilpué y Villa Alemana) registran accesibilidad inmediata reducida, particularmente en Quilpué por las barreras señaladas, pero mantienen altos flujos de subidas y bajadas. La presencia de equipamientos de escala comunal y su rol como intercambiadores intercomunales explican la divergencia entre baja compacidad y alto uso efectivo.

En la estación Hospital (Clúster 3), la accesibilidad residencial intermedia se combina con flujos sostenidos por servicios de salud y educación que generan una población flotante significativa. La intensidad de viajes responde a su centralidad funcional más que a la densidad habitacional.

En los entornos periféricos fragmentados (Clúster 4), se observa la mayor población accesible del sistema, aunque con flujos heterogéneos. Estaciones con oferta comercial relevante (El Belloto, Las Américas) concentran un uso más alto, mientras que otras muestran un desempeño bajo pese a disponer de población accesible. Este patrón confirma que la densidad residencial aislada no garantiza viajes si no se acompaña de mixtura de usos y espacio público caminable.

Finalmente, en la estación El Salto (Clúster 5), la ausencia de población residente contrasta con flujos de pasajeros significativos, explicables por funciones productivas y logísticas siendo desplazamientos laborales.

**Tabla 7.** Síntesis de comportamiento de accesibilidad y flujos por clúster. Fuente propia.

Clúster	Viviendas 10 min	Población 10 min	Promedio Transacciones 8 días	Viajes EOD 2014	DI promedio
1	7.293	12.080	23.177	17.859	0,52
2	1.611	4.064	23.912	19.540	0,54
3	4.431	8.849	6.370	5.109	0,49
4	6.823	18.813	16.796	14.471	0,46
5	0	0	2.169	1.509	0,52

Para complementar la síntesis de accesibilidad y uso mostrada en la Tabla 7, la Tabla 8 resume los volúmenes promedio de entradas, salidas y transacciones totales por clúster, además de los rangos mínimo y máximo observados entre sus estaciones. Este nivel de agregación permite evidenciar patrones internos consistentes con las tipologías definidas: valores elevados y estables en centralidades metropolitanas y comunales, un desempeño intermedio en el nodo institucional, gran heterogeneidad en los entornos periféricos fragmentados y los menores volúmenes en la estación portal de carácter industrial. El detalle de flujos por estación se expone en el Anexo 1.

**Tabla 8:** Resumen de flujos por clúster (promedio de entradas y salidas, transacciones totales y rangos). Fuente: elaboración propia con base en SECTRA, 2017 (validaciones en torniquetes) y EOD 2014.

Clúster	Promedio entradas	Promedio salidas	Transacciones promedio (entradas + salidas)	Rango (entradas + salidas)	min-máx.
1	2.001	1.407	3.408	2.537–4.279	
2	4.441	3.386	7.827	7.537–8.116	
3	1.737	1.032	2.769	2.769–2.769	
4	2.195	1.696	3.892	2.355–6.393	
5	606	350	956	956–956	

Comparativamente, los resultados muestran que los flujos se explican mejor por la articulación entre accesibilidad y usos de suelo que por la densidad residencial. En centralidades metropolitanas e institucionales, la diversidad funcional amplifica la captación modal; en centralidades comunales, la conectividad intercomunal eleva los flujos pese a la baja compacidad inmediata; en periferias fragmentadas, la densidad sin mixtura revela los límites de la accesibilidad peatonal; y en estaciones aisladas, el uso responde a lógicas productivas externas al enfoque DOT.

En síntesis, los contrastes observados refuerzan la pertinencia de tratar la accesibilidad peatonal como una dimensión analítica autónoma dentro del marco de las 5D. La heterogeneidad entre estaciones demuestra que la proximidad modal no siempre se traduce en acceso real y que la alineación con principios DOT depende de la integración simultánea de variables residenciales, funcionales e institucionales.

## 5. DISCUSIÓN

La evidencia obtenida a partir de los clústeres y de la evaluación independiente de accesibilidad peatonal confirma que la sola presencia de infraestructura ferroviaria no garantiza la convergencia de atributos propios del Desarrollo Orientado al Transporte (DOT). En el caso del Metro Valparaíso, los resultados revelan cinco

configuraciones urbanas que expresan tensiones estructurales entre los principios del modelo y las dinámicas territoriales locales, lo que obliga a matizar las expectativas normativas del enfoque.

En las centralidades metropolitanas consolidadas (clúster 1), la densidad residencial, la diversidad de usos y la accesibilidad peatonal convergen en un patrón cercano al ideal normativo del DOT, coherente con experiencias donde la articulación transporte–suelo y la captura de valor sustentan sinergias estables (Cervero & Murakami, 2009; Curtis et al., 2009; Dittmar & Ohland, 2003). No obstante, incluso en este caso persisten desafíos de gestión urbana que exceden los indicadores morfológicos y demandan coordinación interinstitucional, en línea con críticas recientes a la dificultad de sostener TODs consolidados en el tiempo (Bolleter & Ramalho, 2020).

Las centralidades comunales en vías de consolidación (clúster 2) encarnan lo que este estudio denomina centralidades incompletas: nodos con flujos relevantes y rol intercomunal, pero sin la mixtura y calidad del entorno peatonal necesarias para una vitalidad sostenida. Ello coincide con advertencias sobre la traslación acrítica del TOD y la necesidad de enfoques sensibles al contexto (Papa, 2019; Staricco & Vitale Brovarone, 2020), particularmente en estaciones suburbanas donde las expectativas de densidad y diversidad no se materializan por condiciones locales de mercado, resistencia comunitaria o débil gobernanza. En continuidad con esta lógica, el caso de entornos institucionales (clúster 3, estación Hospital) confirma que la accesibilidad efectiva puede sostenerse en atributos funcionales más que residenciales: la población flotante derivada de equipamientos de salud y educación asegura viajes estables aun con densidades medias. Este hallazgo se aproxima a la noción de *accessibility-oriented development* (Deboosere et al., 2018) y sugiere que la valoración del DOT debe ampliar la mirada más allá de indicadores físicos, tal como proponen revisiones recientes de la literatura (Jamme et al., 2019).

Los entornos periféricos fragmentados (clúster 4) ilustran los límites de la relación densidad–viajes. La mayor población accesible no se traduce automáticamente en uso del sistema si faltan mezcla de usos y espacio público caminable, reforzando la conveniencia de índices flexibles y lecturas que integren vitalidad urbana (Campos-Sánchez et al., 2019). En este sentido, la literatura reciente enfatiza la importancia de incorporar metodologías comparativas y evaluaciones de nivel TOD en estaciones (Sun, et al, 2024), lo cual permite distinguir entre potencial morfológico y desempeño real.

Por último, la estación El Salto (clúster 5) ejemplifica una estación funcional sin sinergia morfológica: flujos asociados a lógicas productivas y logísticas más que a una relación virtuosa de accesibilidad y diversidad urbana. Este patrón ha sido documentado en ciudades intermedias donde la conectividad ferroviaria no genera efectos estructurantes inmediatos (Nigro, et al, 2019; Ureña, et al, 2009) y contrasta con experiencias recientes de estaciones repositionadas como Railopolis, capaces de convertirse en nuevas centralidades urbanas con identidad propia (Banerjee, 2024).

La decisión metodológica de mantener la accesibilidad peatonal como dimensión externa al índice DOT permitió distinguir compacidad morfológica de acceso efectivo y revelar brechas que los modelos agregados suelen enmascarar (Geurs & van Wee, 2004). Esta diferenciación confirma que la evaluación de estaciones requiere aproximaciones integradas que combinen escalas locales y regionales, en consonancia con la propuesta de un TOD de nueva generación que incorpore eficiencia, equidad y adaptabilidad ecológica (Next-Gen TOD; Zhang, 2025).

En conjunto, los hallazgos sugieren tres implicancias principales: (i) el DOT opera mejor como matriz diagnóstica flexible que como norma universal; (ii) la consolidación de centralidades incompletas exige densificación dirigida, inversión en espacio público y conectividad intermodal; y (iii) la integración del ferrocarril en ciudades intermedias demanda una lectura situada y multiescalar, consciente de la asincronía entre infraestructura y forma urbana. Este aporte empírico dialoga con el debate internacional sobre la necesidad de repensar el TOD más allá del paradigma 3D/5D hacia modelos que incluyan variables sociales, tecnológicas y ambientales (Jamme et al., 2019; Staricco & Vitale Brovarone, 2020; Zhang, 2025).

El caso del Metro Valparaíso, como infraestructura en transición, demuestra que el potencial del DOT no se

agota en la relación estación–entorno inmediato, sino que depende de marcos institucionales, dinámicas de mercado y prácticas de gobernanza. Así, contribuye a enriquecer la discusión global sobre cómo los sistemas ferroviarios en ciudades intermedias pueden convertirse en catalizadores de formas urbanas más equitativas y sostenibles.

Más allá de su alcance académico, los resultados también ofrecen proyecciones aplicadas. Desde una perspectiva aplicada, estos resultados pueden orientar decisiones de política pública en Chile. La identificación de centralidades incompletas y brechas de accesibilidad permite al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y a los Gobiernos Regionales y Comunales priorizar instrumentos de planificación que integren densificación orientada al transporte, mixtura de usos y mejoramiento de espacio público en radios de estación (actualización de Planes Reguladores, seccionales y Planes de Inversión en Infraestructura de Movilidad y Espacio Público). La Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA) puede incorporar indicadores del índice DOT y de accesibilidad peatonal en planes y diagnósticos de transporte urbano, para alinear oferta modal, conectividad intermodal y diseño del entorno. El caso del Metro Valparaíso refuerza la necesidad de una gobernanza multinivel —municipios, ministerios y operador— con carteras de proyectos priorizadas por tipología de estación, a fin de traducir el diagnóstico en intervenciones graduales, medibles y sostenibles en el tiempo.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio confirma asimetrías entre forma urbana y desempeño territorial en entornos ferroviarios. A partir del caso del Metro Valparaíso, introduce dos categorías interpretativas: centralidades incompletas, que combinan densidad residencial y concentración de destinos suficientes sin consolidar mixtura ni vitalidad peatonal; y estaciones funcionales sin sinergia morfológica, donde la relevancia operativa no se traduce en un entorno coherente con los principios del Desarrollo Orientado al Transporte (DOT). Estas categorías ofrecen una lectura situada del modelo y muestran que, en redes ferroviarias de ciudades intermedias y áreas metropolitanas emergentes, el DOT opera mejor como matriz diagnóstica comparativa que como receta normativa.

En el plano metodológico, la integración de indicadores multidimensionales mediante PCA y agrupamiento jerárquico constituye una estrategia replicable para evaluar redes en transición. La accesibilidad peatonal tratada como dimensión externa permite distinguir compacidad morfológica de acceso efectivo y evita circularidades analíticas, reforzando la utilidad del enfoque para comparaciones entre estaciones y sistemas.

En términos de proyección, la evidencia y tipologías desarrolladas pueden orientar la actualización de Planes Reguladores Comunales y Seccionales, el diseño de Planes de Inversión en Infraestructura de Movilidad y Espacio Público (PIIMEP) y los diagnósticos integrados de SECTRA, MINVU y Gobiernos Regionales y Comunales en entornos de estación, contribuyendo a políticas urbanas y de movilidad más integradas, intermodales y sostenibles. Sobre esta base, la agenda investigativa se estructura en tres vectores interdependientes —gobernanza y mercado de suelo; seguimiento longitudinal; y articulación ferroviaria–metropolitana en ciudades intermedias y áreas metropolitanas emergentes—, que consolidan un programa de investigación aplicada orientado a evaluar, ajustar y escalar intervenciones en entornos de estación, fortaleciendo la capacidad institucional y científica para medir impactos y guiar decisiones a futuro en materia de planificación urbana y transporte sostenible, sustentadas en evidencia territorial comparativa.

## 7. REFERENCIAS

Acosta, C., Jauregui-Fung, F., Lana, B., & Aulestia, D. (2025). *Financiamiento del desarrollo urbano: Suelo y movilidad pública en ciudades de Asia y América Latina* (Documentos de proyectos N.º 81535). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/81535>

Álvarez-Palau, E., Hernández-Asensi, M., & Tort-Aymerich, A. (2016). Modelo morfológico de crecimiento urbano inducido por la infraestructura ferroviaria: Estudio de caso en 25 ciudades catalanas. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 20(527). <https://doi.org/10.1344/sn2016.20.15789>

Banerjee, I. (2024). Railopolis: City within a city. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 17(3), 443–463. <https://doi.org/10.1080/17549175.2022.2074523>

Bertolini, L. (1999). Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice and Research*, 14(2), 199-210. <https://doi.org/10.1080/02697459915724>

Bolleter, J., & Ramalho, C. E. (2020). Transit-oriented development (TOD) and its problems. En J. Bolleter & C. E. Ramalho, *Greenspace-oriented development* (pp. 17–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29601-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29601-8_2)

Bonvino, G. (2019). Funding public transport in Turin with transit oriented development land value capture. En R. D. Knowles & F. Ferbrache (Eds.), *Transit oriented development and sustainable cities* (pp. 66–79). Edward Elgar Publishing.

Calthorpe, P. (1993). *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*. Princeton Architectural Press.

Campos-Sánchez, F.-S., Abarca-Álvarez, F.-J., Serra-Coch, G., & Chastel, C. (2019). Evaluación comparativa del nivel de desarrollo orientado al transporte (DOT) en torno a nodos de transporte de grandes ciudades: Métodos complementarios de ayuda a la decisión. *Revista EURE – Revista de Estudios Urbano Regionales*, 45(134), 1–20. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000100005>

Cervero, R. (2020). The transit metropolis: A 21st century perspective. En E. Deakin (Ed.), *Transportation, land use, and environmental planning* (pp. 131–149). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815167-9.00007-4>

Cervero, R., & Dai, D. (2014). BRT TOD: Leveraging transit-oriented development with bus rapid transit investments. *Transport Policy*, 36, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.08.001>

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)

Cervero, R., & Murakami, J. (2009). Rail and property development in Hong Kong: Experiences and extensions. *Urban Studies*, 46(10), 2019–2043. <https://doi.org/10.1177/0042098009339431>

Cervero, R., Suzuki, H., & Iuchi, K. (2013). *Transformando las ciudades con el transporte público: Integración del transporte público y el uso del suelo para un desarrollo urbano sostenible*. Banco Mundial. <http://hdl.handle.net/10986/12233>

Cortés-Salinas, A. (2023). *Transformaciones socioespaciales ante cambios en las infraestructuras de transporte: El caso del mejoramiento del Metro Regional de Valparaíso y la autopista Troncal Sur en las comunas de Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana (1998–2022)* [Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Repositorio UC. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ARQ/75396>

Curtis, C., Renne, J. L., & Bertolini, L. (Eds.). (2009). *Transit oriented development: Making it happen*. Ashgate.

Deboosere, R., El-Geneidy, A. M., & Levinson, D. (2018). Accessibility-oriented development. *Journal of Transport Geography*, 70, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.05.015>

Dittmar, H., & Ohland, G. (Eds.). (2003). *The new transit town: Best practices in transit-oriented development*. Island Press.

Fouré, G. (2022). *La planificación territorial en Chile: Realidades y potencialidades. El caso de la región de Valparaíso* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona].

Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

Hidalgo, D., & Huizenga, C. (2013). Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.034>

Huang, R., Grigolon, A., Madureira, M., & Brussel, M. (2018). Measuring transit-oriented development (TOD) network complementarity based on TOD node typology. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1). <https://doi.org/10.5198/jtlu.2018.1110>

Hurst, N. B., & West, S. E. (2014). Public transit and urban redevelopment: The effect of light rail transit on land use in Minneapolis, Minnesota. *Regional Science and Urban Economics*, 46, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2014.02.002>

Jamme, H.-T., Rodriguez, J., Bahl, D., & Banerjee, T. (2019). A twenty-five-year biography of the TOD concept: From design to policy, planning, and implementation. *Journal of Planning Education and Research*, 39(4), 409–428. <https://doi.org/10.1177/0739456X19882073>

Knowles, R. D., & Ferbrache, F. (2019). Introduction: Transit oriented development and sustainable cities. En R. D. Knowles & F. Ferbrache (Eds.), *Transit oriented development and sustainable cities* (pp. 1–12). Edward Elgar Publishing.

Knowles, R.D & Nikitas, A. (2025). Transit-oriented development versus car-dependent development: The importance of high frequency transit services and prior investment in transit. *Cities*, 166, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106231>

Liao, C., & Scheuer, B. (2022). Evaluating the performance of transit-oriented development in Beijing metro station areas: Integrating morphology and demand into the node-place model. *Journal of Transport Geography*, 100, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103333>

Liu, Y., Nath, N., Murayama, A., & Manabe, R. (2022). Transit-oriented development with urban sprawl? Four phases of urban growth and policy intervention in Tokyo. *Land Use Policy*, 112, 105854. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105854>

Lyu, G., Bertolini, L., & Pfeffer, K. (2016). Developing a TOD typology for Beijing metro station areas. *Journal of Transport Geography*, 55, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.07.002>

Maturana, F. (2017). ¿Ausencia de planificación urbana en Chile? Algunas reflexiones. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://journals.openedition.org/cybergeo/28064>

Muga, E., & Rivas, M. (2009). Mutaciones y cambios en la estructura urbana del Área Metropolitana de Valparaíso. En R. Hidalgo, C. De Mattos, & F. Arenas (Eds.), *Chile: Del país urbano al país metropolitano* (pp. 201–222). Santiago de Chile: Serie Geolibros N.º 12, Colección EURE-Libros.

Napadensky, A., & Orellana, A. (2019). Metropolización y organización funcional de sistemas urbanos intermedios: Gran La Serena, Concepción y Puerto Montt. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(1), 65–78. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n1.67325>

Nigro, A., Bertolini, L., & Moccia, F. D. (2019). Land use and public transport integration in small cities and

towns: Assessment methodology and application. *Journal of Transport Geography*, 74, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.004>

Orellana, A., Arenas, F., & Moreno, D. (2020). Ordenamiento territorial en Chile: Nuevo escenario para la gobernanza regional. *Revista de Geografía Norte Grande*, (77), 31–49. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000300031>

Papa, E. (2019). Implementing transit oriented development in Greater London. En R. D. Knowles & F. Ferbrache (Eds.), *Transit oriented development and sustainable cities* (pp. 186-197). Edward Elgar Publishing.

Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and transit-oriented development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003>

Pereira, R. H. M., Banister, D., Schwanen, T., & Wessel, N. (2017, September 1). *Distributional effects of transport policies on inequalities in access to opportunities in Rio de Janeiro* [Working paper]. Social Science Research Network (SSRN). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3040844>

Pucci, P. (2019). Stations: Nodes and places of everyday life. En P. Pucci & G. Vecchio (Eds.), *Enabling mobilities* (pp. 59-79). Springer.

Rodríguez, D. A., & Vergel-Tovar, C. E. (2013). Bus rapid transit and urban development in Latin America. *Land Lines*, 25(1), 14–21. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/publications/articles/bus-rapid-transit-urban-development-latin-america>

Schlossberg, M., & Brown, N. (2004). Comparing transit-oriented development sites by walkability indicators. *Transportation Research Record*, 1887(1), 34-42. <https://doi.org/10.3141/1887-05>

Staricco, L., & Vitale Brovarone, E. (2018). Promoting TOD through regional planning. A comparative analysis of two European approaches. *Journal of Transport Geography*, 66 (1), 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.11.011>

Sun, Y., Han, B., & Lu, F. (2024). An overview of TOD level assessment around rail transit stations. *Urban Rail Transit*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40864-023-00211-3>

Sung, H., & Eom, S. (2024). Evaluating transit-oriented new town development: Insights from Seoul and Tokyo. *Habitat International*, 144, 102996. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102996>

Ureña, J. M., Menerault, P., & Garmendia, M. (2009). The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective. *Cities*, 26(5), 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.07.001>

Vecchio, G. (2021). Train stations as nodes and places: The potential of trains for transit-oriented urban development in Santiago, Chile. *Urbano (Concepción)*, 24(43), 84–95. <https://doi.org/10.22320/07183607.2021.24.43.08>

Vergel-Tovar, C. E., & Rodríguez, D. A. (2022). Bus rapid transit impacts on land uses and development over time in Bogotá and Quito. *Journal of Transport and Land Use*, 15(1), 425–462. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2022.1888>

Wu, H., Lee, J. (B.), & Levinson, D. (2023). The node-place model, accessibility, and station level transit ridership. *Journal of Transport Geography*, 113, 103739. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103739>

Zhang, M. (2025). Next-gen TOD: Transforming transit-oriented development to embrace new challenges and opportunities. *Urban Rail Transit*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s40864-025-00242-y>

**ANEXO I:** Resumen de flujos por clúster (promedio de entradas y salidas, transacciones totales y rangos).  
Fuente: elaboración propia con base en SECTRA, 2017 (validaciones en torniquetes) y EOD 2014.

Estación	Entradas				Salidas			
	Sentido Limache-Puerto		Sentido Puerto-Limache		Sentido Limache-Puerto		Sentido Puerto-Limache	
	Promedio Transacciones. 8 días	Viajes EOD 2014	Promedio Transacciones. 8 días	Viajes EOD 2014	Promedio Transacciones. 8 días	Viajes EOD 2014	Promedio Transacciones. 8 días	Viajes EOD 2014
<b>Peñablanca</b>	1.460	1.391	99	149	113	0	1.334	1.584
<b>Sargento Aldea</b>	2.198	3.595	110	132	116	170	1.497	2.382
<b>Villa Alemana</b>	3.868	3.293	428	980	552	668	4.786	3.669
<b>La Concepción</b>	1.417	1.049	123	418	121	1.134	1.169	938
<b>Las Américas</b>	2.843	2.546	279	150	278	1.690	2.525	1.244
<b>El Belloto</b>	3.383	2.279	370	961	383	930	2.827	3.010
<b>El Sol</b>	1.571	1.164	406	1.125	336	822	1.270	1.293
<b>Quilpué</b>	5.013	3.538	1.635	1.770	1.838	2.635	5.792	3.103
<b>El Salto</b>	606	460	426	440	518	359	619	350
<b>Chorillos</b>	2.496	1.717	1.197	1.599	1.247	1.125	2.358	1.423
<b>Hospital</b>	1.737	1.273	1.482	1.402	1.647	829	1.504	1.032
<b>Viña del Mar</b>	2.373	1.482	4.295	3.057	5.054	3.965	2.885	1.906
<b>Miramar</b>	1.629	702	2.668	2.677	2.560	2.199	1.713	908