

PREFERENCIAS DE LOCALIZACIÓN Y SEGMENTACIÓN DE AGENTES LOGÍSTICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO, CHILE

Gerardo Ureta, Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile, geureta@uc.cl

Ricardo Hurtubia, Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile, rhurtubia@uc.cl

Ricardo Giesen, Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile, giesen@ing.puc.cl

RESUMEN

Los agentes de logística urbana toman decisiones de localización respecto de sus instalaciones logísticas (IL). A partir de datos públicos y privados, se estudia el fenómeno de expansión de las IL en Santiago de Chile y se estiman modelos de elección de localización de las IL, según segmentaciones exógenas, considerando distintos atributos de las alternativas de localización. Las IL se segmentaron según m^2 y calidad de las construcciones logísticas. Los resultados muestran que durante los últimos 20 años se ha producido expansión logística en Santiago, tanto en el destino del uso de suelo, como en los metros cuadrados construidos, y además que los segmentos tienen distintos patrones de localización.

Palabras clave: expansión logística, uso de suelo logístico, modelo de elección de localización

ABSTRACT

Urban logistics agents make location decisions regarding their logistics facilities. From public and private data, the phenomenon of logistics sprawl in Santiago de Chile, is studied. We also estimated location choice models, according to exogenous segmentations, considering different attributes of the location alternatives. The logistics facilities were segmented according to m^2 and quality of the logistics constructions. The results show that during the last 20 years there has been logistical expansion in Santiago, both in the destination of land use, and in the square meters built, and that the segments have different location patterns.

Keywords: logistics sprawl, logistics land use, location choice model

1. INTRODUCCIÓN

La logística urbana (LU), encargada de la distribución de bienes, es vital para el funcionamiento de las ciudades y en la economía urbana, generando potenciales impactos en la calidad del entorno urbano y el bienestar social (Aljohani & Thompson, 2016; Bektaş et al., 2019). A pesar de ello, no se le ha prestado suficiente atención a la LU en el proceso de diseño de políticas públicas y planificación del uso de suelo urbano (Browne et al., 2012; Holguin-Veras et al., 2021; Marcucci et al., 2017).

Podemos dividir las partes interesadas en la LU entre públicas y privadas. En las primeras, se encuentran las autoridades, operadores de transporte público y residentes, y en las segundas, despachadores, transportistas de carga y receptores (Arrieta-Prieto et al., 2020; G. F. De Oliveira & De Oliveira, 2016). Cada uno de ellos presenta necesidades, objetivos y problemas diferentes. A las empresas privadas que hacen LU las llamaremos agentes de logística urbana (ALU).

Dentro de los ALU, los transportistas de carga suelen aspirar a obtener recorridos de recogida y entrega, donde intentan maximizar sus ganancias netas, que satisfagan los intereses de los despachadores de carga (Quak et al., 2016). Tanto ALU despachadores como receptores, buscan brindar servicios al más alto nivel de eficiencia (Carbone et al., 2017), donde ambos pueden actuar como puntos de demanda. Tanto ALU despachadores como receptores requieren de instalaciones logísticas (IL) para sus actividades. Para los agentes públicos los objetivos son diferentes (Rzeźny-Cieplińska & Szmelter-Jarosz, 2021). Las autoridades buscan maximizar el bienestar social mediante la reducción de costos sociales a través de políticas públicas, que incluyen los costos privados y la cuantificación de las externalidades. Los operadores de transporte público utilizan la infraestructura vial, debiendo compartirlas con los transportistas de carga. Los residentes experimentan muchas molestias producto de la LU, buscando la máxima calidad de vida y también deben compartir las calles con los demás agentes.

Las decisiones de localización que toman los ALU respecto de sus IL son importantes para conseguir sus fines, pues combinan la disponibilidad del producto con los pedidos de los clientes al almacenar el inventario a lo largo del tiempo, actuando como amortiguador entre la oferta y la demanda (Lim & Park, 2020). La configuración actual de localización de los ALU genera diversas externalidades, ya que muchas IL se ubican en zonas alejadas de los centros de consumo y clientes finales, provocando un aumento de los impactos ambientales negativos, como emisiones de gases de efecto invernadero, contaminaciones, ruido, congestión y consumo de combustible (Aljohani & Thompson, 2016; Dablanc, 2011). También se han descrito impactos en la calidad de vida de las personas (Oliveira et al., 2019) y justicia ambiental urbana (Yuan, 2018), producto de que las IL se localizan en zonas donde viven los grupos socioeconómicos más disminuidos. Un estudio de escenarios realizado por Wagner (2010) confirma que en un escenario con uso de suelo logístico disperso, efectivamente hay más externalidades en comparación con el uso de suelo logístico concentrado. Los camiones de carga tienen que viajar distancias más largas hacia las áreas urbanas y la distancia total recorrida aumenta a medida que los envíos se mueven de camiones grandes a vehículos de reparto más pequeños (Crainic et al., 2004).

Para proporcionar medidas de política pública efectivas para mitigar las externalidades de la LU producto de la expansión logística, es necesario comprender las características regionales de la relación entre oferta y demanda de IL en las áreas metropolitanas (Lim & Park, 2020). Pese a que

el fenómeno de expansión logística está bien documentado en ciudades de países desarrollados, a excepción de Brasil, faltan estudios sobre la localización logística en áreas metropolitanas del sur global (Guerin et al., 2021).

Diversos autores reconocen la existencia de heterogeneidad en los patrones de localización de los ALU y sus IL en los mercados inmobiliarios logísticos, como el precio de suelo, políticas de uso de suelo, accesibilidad a lugares de consumo y accesibilidad a infraestructura vial, aeroportuaria y marítima, donde las tipologías pueden variar de acuerdo con la función a realizar dentro de la IL (Heitz et al., 2019; Onstein et al., 2021; Sakai et al., 2020). Esas características funcionales permitirían segmentar de mejor manera el mercado inmobiliario logístico (MIL). Por lo que se desconoce en la literatura una estructura clara de cómo segmentar los MIL. Estudios previos asumieron submercados de manera exógena (Clark & Pennington-Cross, 2016). Otros utilizaron análisis de conglomerados para delinear submercados basados en similitudes de precios inmobiliarios (Helbich et al., 2013) y otros lo hacen a través de métodos estadísticos (Lim & Park, 2020). También se han subdividido los mercados logísticos según criterios de consultoras inmobiliarias (GPS Property, 2021).

Para entender de mejor forma la relación entre el uso de suelo y la elección de localización que toman los ALU sobre sus IL, este artículo tiene un doble objetivo. Primero, mediante un análisis centrográfico (Dablanc et al., 2014; Dablanc & Rakotonarivo, 2010) buscamos comprender el fenómeno de expansión logística de las IL. Segundo, a partir de medidas de accesibilidad como variables explicativas de la localización, se proponen modelos de elección de localización (McFadden, 1978) de las IL, de acuerdo a una segmentación exógena de ellas. Probamos nuestro modelo considerando a todos los ALU y sus IL (SII, 2021) localizadas en la Región Metropolitana de Santiago de Chile (RMSCh).

El resto del trabajo está organizado como sigue. En la sección 2, se describe la metodología para medir la expansión logística, calcular medidas de accesibilidad y para estimar el modelo de elección de localización. En la sección 3 del documento se describen los datos utilizados. En la sección 4 se muestran los resultados obtenidos a partir de las metodologías descritas en la sección 2 utilizando los datos de la sección 3. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y extensiones de esta investigación.

2. METODOLOGÍA

2.1. Medidas de expansión logística

La expansión logística describe el fenómeno de la concentración de las IL en las regiones periféricas de las áreas metropolitanas a lo largo del tiempo (Dablanc & Rakotonarivo, 2010), que puede ser causada por el aumento de la densidad de población (Yuan & Zhu, 2019), el precio del suelo en las zonas centrales y la mayor disponibilidad de espacio en las zonas periféricas (Combes, 2019). La identificación del fenómeno de la expansión logística conduce a la comprensión de las tendencias agregadas en el transporte urbano de mercancías y la anticipación de sus impactos a nivel regional (Dubie et al., 2020).

Dablanc & Rakotonarivo (2010) fueron los primeros en medir la expansión logística, identificando como un ALU, en este caso las empresas de transporte de paquetería se alejaban del núcleo urbano

de la ciudad de París para el periodo entre 1974 y 2008. Luego, diversos estudios han medido la expansión logística (Dubie et al., 2020; Guerin et al., 2021; He et al., 2018; Li et al., 2018; Yuan & Zhu, 2019). Kang (2020) sintetizó el trabajo existente y enfatizó dos términos: centralidad y concentración, en la comprensión de la dinámica espacial del desarrollo de las IL. Según Kang, el patrón de reorganización espacial de las IL puede incluir las siguientes dimensiones: (i) descentralización, las IL se alejan del núcleo urbano; (ii) concentración, se desplazan cerca de otras IL; (iii) descentralización relativa, esa descentralización es más importante que la de todas las empresas, empleos y hogares; y (iv) concentración relativa, dicha concentración es hacia zonas con mayores densidades de empleo/población.

En el caso de medir la descentralización o descentralización relativa se ha utilizado la distancia media de las IL a los empleos o la población (Dablanc et al., 2014; Dablanc & Ross, 2012). Para medir la desconcentración se utiliza el coeficiente de Gini (Kang, 2020; van den Heuvel et al., 2014). Un coeficiente de Gini alto sugiere un patrón de distribución desigual: una gran proporción de las instalaciones de almacenamiento se concentran en una pequeña proporción de unidades geográficas.

En la ecuación (1) se presenta la medida centrográfica definida por Dablanc y Ross (2012). Calcula la distancia promedio a todas las IL desde el centroide geográfico (baricentro) de todas las IL en un área metropolitana.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (IL_i \times d_i)}{IL} \quad (1)$$

Donde, IL_i es la cantidad de m^2 de construcciones logísticas en la zona i , IL es la suma de IL_i , d_i es la distancia euclíadiana a la zona i desde el baricentro de todas las IL. El baricentro se calcula como la media de las coordenadas XY con el peso del tamaño de los m^2 de construcciones logísticas.

En nuestro estudio, se mide la expansión logística hacia el centro geográfico de las instalaciones comerciales, dada la relación que existen entre el sector logístico y comercial. Además, se incluye una medición de expansión logística de las IL hacia el centro histórico de la ciudad de Santiago, a fin de compararla con la medida de expansión comercial.

2.2. Medidas de Accesibilidad

La accesibilidad es un concepto clave en las políticas de transporte, definida como la facilidad con la que un sistema de transporte puede hacer frente a las necesidades de movilidad de personas y mercancías derivadas de la distribución espacial de las actividades económicas y sociales (Geurs & van Wee, 2004; Khalili et al., 2020).

Para la LU se han utilizado diversas medidas de accesibilidad: basadas en la gravedad, en infraestructura y en distancia, donde predomina la primera medida (González-Feliu, 2018). El indicador de accesibilidad más utilizado es la accesibilidad potencial o el total de todos los destinos de interés ponderados por una función inversa del esfuerzo para llegar a ellos medido en tiempo o costo o una combinación de ambos como costo generalizado (Wegener, 2019), tal como se ve en la ecuación (2):

$$Acc_i = \sum_{j=1} O_j * e^{-\beta d_{ij}} \quad (2)$$

Donde Acc_i es la accesibilidad potencial de la zona i , O_j representa los metros cuadrados de suelo o edificados (comercial, habitacional, industrial, logístico y oficina) en la zona j , $e^{-\beta d_{ij}}$ es una función de decaimiento exponencial negativa y d_{ij} representa la distancia entre los centroides de las zonas.

Dado que no contamos con datos de flujos precisos para calibrar funciones de impedancia, usamos una especificación del modelo de vida media de la disminución de la distancia para seleccionar una función de disminución exponencial parametrizada de manera que la duración media de la distancia devuelva un valor medio, según ecuación (3) (Östh et al., 2016).

$$\beta = -\frac{\ln(0,5)}{m} \quad (3)$$

β se calcula mediante el logaritmo natural de 0,5 dividido por el valor m , que representa la distancia media entre zonas.

2.3. Modelo de elección de localización

El modelamiento matemático de la elección de localización considera un agente h que evalúa un conjunto de alternativas de localización I , cada una de las cuales le reporta una utilidad que depende de los atributos Z_i de la alternativa i (incluido el precio o renta de la unidad), las características X_h del agente y un vector β_h de parámetros de valoración de los atributos y características. El agente enfrenta el problema de elegir la alternativa i que maximiza su utilidad (ec. (4)):

$$\max_i U_{hi}(X_h, Z_i, \beta_h) \quad (4)$$

La utilidad U_{hi} tiene un término aleatorio de error dado por variables no observadas y por otros aspectos no capturados por la modelación, por lo que la utilidad se puede reescribir como:

$$U_{hi} = V_{hi} + \varepsilon_{hi} \quad (5)$$

En la ecuación (5), V_{hi} es la componente que tiene las variables observadas. Esto hace que la alternativa elegida no sea determinística, sino que se defina por una probabilidad que depende de la distribución del error. El término ε_{hi} sigue una distribución de error tipo Gumbell, donde la probabilidad de que un agente h seleccione la localización i se puede escribir como un modelo *logit* multinomial (LMN) (ec. (6)):

$$P_h(i) = \frac{\exp(\mu V_{hi})}{\sum_{j \in S} \exp(\mu V_{hj})} \quad (6)$$

donde S es un subconjunto de alternativas de localización que se selecciona aleatoriamente desde el universo de localizaciones posibles. Dado que el modelo se estima sobre una muestra, se debe incluir un factor de corrección μ , el cual es un factor de escala que es inversamente proporcional a la desviación estandar del término error. De esta forma, debe definirse V_{hi} . El modelo logit multinomial se asumen que V_{hi} es una función lineal y aditivamente separable, siguiendo esta fórmula matemática $V_{hi} = \sum_k \beta_k X_{ki}$ y μ es normalizado a 1 al no ser identificable, lo cual implica que la varianza de los términos de error es constante (Ben-Akiva & Lerman, 1985).

Dado que el modelo LMN asume su homogeneidad, la heterogeneidad en las preferencias de localización, es posible segmentar la muestra de manera arbitraria. Alternativamente, es posible utilizar técnicas avanzadas y flexibles, como modelos *logit* mixtos o de clases latentes (Cox & Hurtubia, 2020; Revelt & Train, 1998).

El modelo se estima en la librería biogeme (Bierlaire, 2003) de *python*, utilizando la estimación de máxima verosimilitud para determinar los parámetros beta β_n que proporcionan el mejor ajuste. Las variables independientes X_n asociadas con esos parámetros se explican a continuación.

3. DATOS

Usamos tres conjuntos de datos. El primero, proviene del catastro de bienes raíces del Servicio de Impuestos Internos de Chile (SII, 2021), el cual contiene información sobre la superficie de suelo, la cantidad de metros cuadrados construidos en el suelo, el año de localización, calidad de las construcciones y el destino o actividad económica (comercial, habitacional, industrial, logística y de transporte). El segundo, proviene del Censo 2017 (INE, 2018). El tercer conjunto de datos proviene de empresas de consultoría inmobiliaria (TocToc.com y Pablo Trivelli y cia), a fin de confeccionar la base de datos para conocer el precio del suelo en el área estudiada.

3.1. Periodos de medición

Se consideraron periodos de 5 años a partir del año 1981 hasta el año 2020. Las medidas de accesibilidad que se utilizan como variables explicativas para estas decisiones de localización son calculadas con los datos de localización obtenidos hasta el año 2015. Para estimar los modelos se considera el periodo a partir del año 2016 hasta información del año 2020.

3.2. Clasificación de Instalaciones Logísticas

Los actuales segmentos se han definido de acuerdo a normativas regionales, de países o generados por consultoras inmobiliarias (Heitz et al., 2019; Kang, 2018). Con la información disponible no es posible realizar fácilmente una segmentación de ALU y sus IL. Por ejemplo, un ALU puede haber localizado una IL en un suelo logístico, comercial, industrial u otros usos. Además, sobre un uso de suelo logístico pueden existir construcciones con destinos distintos al logístico. De esta forma, generar una segmentación de ALU e IL resulta complejo, pero necesario.

A partir de los datos públicos del SII (2021), se buscó generar diversas segmentaciones de las IL en base a algunos criterios. En una primera categoría se consideraron las IL que cuentan con menos de 10 metros cuadrados (m^2). El supuesto es que ellas están localizadas junto a edificaciones habitacionales, por lo que su prestación es para satisfacer necesidades distintas a las comerciales.

El SII cataloga a las construcciones con calidad entre 1 a 5, donde 1 es la mejor y 5 la peor. La calidad permite diferenciar las construcciones de una misma clase de acuerdo con sus especificaciones técnicas y costos de edificación.

Luego de múltiples estimaciones de los modelos de elección de localización, se concluye que la calidad 1 por si sola presenta mejores resultados, donde independiente de su calidad, se agrupan en un segmento. Luego, se agruparon las calidades 2 y 3 en un segmento, y las calidades 4 y 5 en otro segmento.

Tabla 1: Distribución m2 construidos IL, periodo 2016-2020

	M2 Construidos sobre todos los Usos de Suelo	Promedio m2	M2 Construidos sobre Suelo Logístico	Promedio m2	% m2 Construidos Sobre Suelo Logístico
Segmento 1	159.254	3,70	120.867	3,45	75,90%
Segmento 2	402.884	1.068,66	351.725	990,77	87,30%
Segmento 3	1.000.906	827,80	778.596	1.185,08	77,79%
Segmento 4	227.678	64,15	59.461	30,21	26,12%

En la tabla 1 se muestra la distribución de m2 construidos de IL en el periodo 2016 al 2010. Como se aprecia, las IL pueden estar en suelo distinto al logístico. Tener esta información es una gran ventaja para el planificador. Las IL sobre suelo con destino logístico representan el 77,17%. De forma desagregada, se tiene que para los segmentos 2, 3 y 4, los porcentajes de construcciones logísticas sobre suelo con destino logístico es de 93,72%, 83,08% y 26,51%.

3.3 Variables independientes

Como se discutió en la sección introductoria, el acceso a las infraestructuras juega un papel fundamental en la decisión de elección de localización. Por lo tanto, se espera que algunas de las variables significativas sean significativas, como la proximidad a los puertos de la Región de Valparaíso (RV), aeropuerto de Santiago y entrada más cercana a una autopista.

Las medidas de accesibilidad se calculan, según ecuaciones (3) y (4), para los distintos usos de suelo y destino de las construcciones, como suelos y construcciones comerciales, habitacionales, industriales, logísticos, oficinas, salud, sector público y hoteles. Para el caso del comercio y de las IL, se hicieron dos segmentaciones para cada una de ellas. Además, se calcula la accesibilidad a la población, de acuerdo con los datos del Censo 2017 (INE, 2018). Como criterio de segmentación para las construcciones comerciales se consideraron en una categoría aquellas que están a partir de los 400 metros cuadrados, siguiendo la clasificación de *strip center* realizada por la empresa de consultoría inmobiliaria *GPS Property Chile*, dejando todas las demás en una categoría aparte. Además, se midió la accesibilidad según el criterio de segmentación de la sección 3.2. para las IL, es decir, para menores de 10 m² y otra medición para mayores de 10 m².

4. RESULTADOS

El enfoque metodológico, presentado en la sección 2 y con los datos de la sección 3, se aplicó a la Región Metropolitana de Santiago de Chile (RMSCh). Producto de la importancia que tienen los puertos localizados en la Región de Valparaíso (RV), se amplía la zona para el cálculo de la distancia desde la RMSCh hacia los puertos de la RV.

El área de estudio, imagen 1, representa 2.653.077.349,08 m². La RMSCh cuenta con 52 comunas, de las cuales 32 pertenecen al Área Metropolitana de Santiago (AMS). Inicialmente se buscó estudiar solamente el AMS, pero es posible ver que existen localizaciones logísticas en comunas fuera del AMS. Frente a lo anterior, se incorporaron al estudio 11 comunas fuera del AMS. De acuerdo con la normativa urbanística chilena vigente, no es posible construir sobre los 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar, por lo cual, se eliminaron las celdas donde el 100% de ellas contenga esta restricción. Además, no se consideraron como zonas de localización las celdas donde

el 100% de ellas contengan zonas de áreas protegidas según declaración del Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

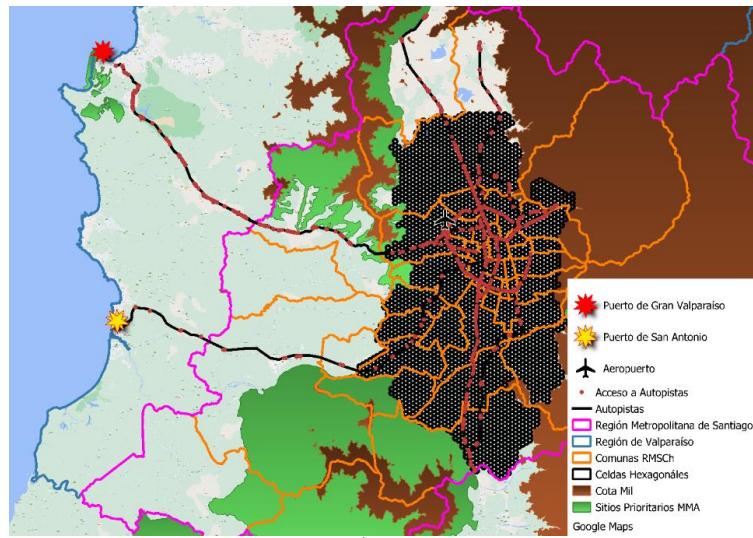


Imagen 1: Área de Estudio

En función de hacer una correcta división del espacio, que permita no repetir información y que dé una buena aproximación del área de estudio, se utilizaron hexágonos regulares a fin de mejorar la modelación. Tal como se ve en la imagen 1, el área de estudio fue subdividida en 3.378 celdas hexagonales (Sahr et al., 2003). Cada celda, imagen 2, tiene un lado de 549,82 metros, donde cada celda forma un área de 785.398,86 metros cuadrados.

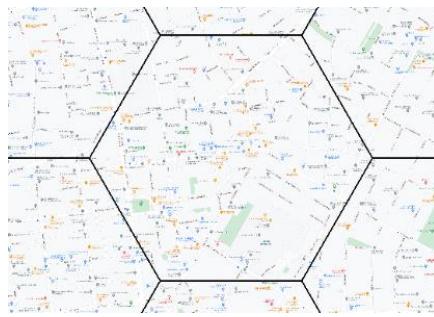


Imagen 2: Celda Hexagonal

A cada una de ellas, se le incorporó información proveniente del catastro de bienes raíces del SII (2021), resultados de las medidas de accesibilidad para los diferentes usos de suelo considerados y distancia desde cada celda hacia la entrada a la autopista más cercana, hacia los puertos y al aeropuerto.

Las imágenes 3 y 4 muestran la distribución espacial de metros cuadrados de construcciones y suelo logístico en el año 2020, respectivamente. En el caso de las construcciones, se puede ver existe una fuerte concentración de IL en el centro de la ciudad, explicada por la fuerte dependencia histórica del centro de la ciudad de la RMSCh. También se observan localizaciones en las salidas norte y poniente de la RMSCh, explicadas por la importancia que tiene el Puerto del Gran Valparaíso.

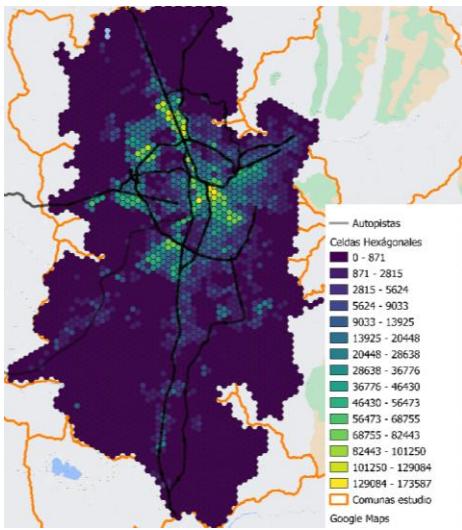


Imagen 3: Distribución metros cuadrados construidos de IL (año 2020)

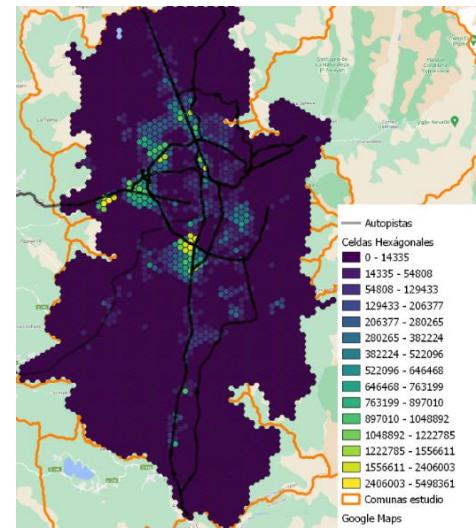


Imagen 4: Distribución metros cuadrados de suelo de IL (año 2020)

A diferencia de las construcciones logísticas, que aun coexisten en zonas centrales donde se ubica la vivienda, en el suelo logístico se ve una fuerte localización hacia las salidas norte, poniente y sur de la RMSCh. Esto se explica por el valor del suelo y las distancias a los puertos de la RV.

4.1. Expansión Logística

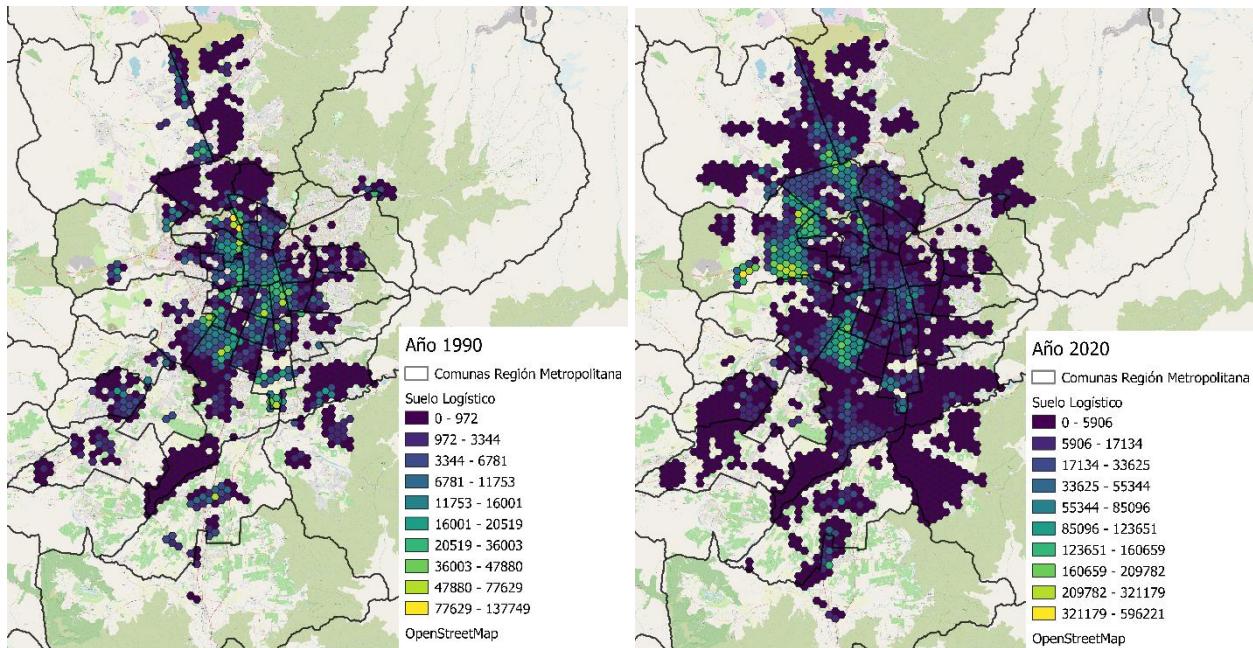
El análisis se divide en dos partes. La primera, estudia la expansión logística del uso de suelo categorizado por el (SII, 2021) como logístico. La segunda, considera las construcciones, independiente del destino del uso de suelo, que tengan como destino logístico.

La tabla 2 analiza los metros cuadrados de suelo logístico acumulados hasta el año indicado. La medición de la expansión logística se realiza con el análisis centrográfico (ecuación (1)). Se considera expansión logística como la distancia que existe entre el centro geográfico de los metros cuadrados de suelo comercial y el centro geográfico del suelo con destino logístico al año indicado. Se verifica la expansión de las IL a partir del año 2000. Lo anterior ocurre pues en los períodos anteriores el centro geográfico se concentraba y desplazaba hacia el sur de la RMSCh.

Tabla 2: Expansión Suelo Logístico

Periodo Acumulado	Suelo Logístico IL			
	Distancia a Baricentro Comercial (kms)	Variación Periodo Anterior	Distancia a Centro Historico (kms)	Variación Periodo Anterior
2020	9,81	11,99%	8,64	9,64%
2015	8,76	15,11%	7,88	15,54%
2010	7,61	-1,30%	6,82	13,86%
2005	7,71	9,05%	5,99	1,53%
2000	7,07	24,69%	5,90	-3,75%
1995	5,67	-5,66%	6,13	-8,92%
1990	6,01	-3,69%	6,73	1,97%
1985	6,24		6,60	

A partir de fines de la década del año 90, el suelo logístico se comenzó a localizar en dirección hacia el Aeropuerto de Santiago y hacia el Puerto de Gran Valparaíso. En el caso de la expansión logística respecto de la distancia hacia el centro histórico de la ciudad de Santiago, se ve el mismo fenómeno que en la medición hacia el centro geográfico del suelo comercial. Lo anterior se puede apreciar en las imágenes 5 y 6.



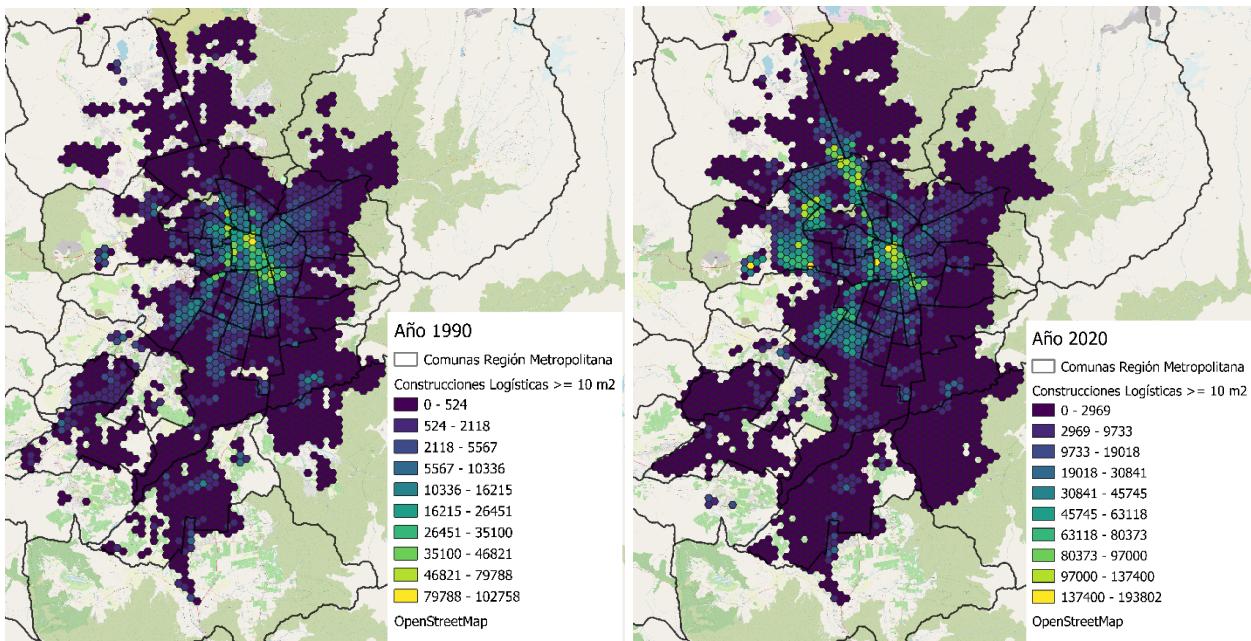
Imágenes 5 (izq) y 6 (der): Expansión logística del suelo en metros cuadrados.

La tabla 3 analiza los metros cuadrados de construcciones logísticas acumulados hasta el año indicado. La medición de la expansión logística se realiza al igual que en el suelo logístico y también se considera expansión logística a la distancia que existe entre el centro geográfico de los metros cuadrados de construcciones comerciales y el centro geográfico de las IL al año indicado. Al igual que en la expansión logística del suelo, se verifica una expansión a partir de año 2000, por las mismas consideraciones de la expansión suelo logístico. El fenómeno de expansión logística se repite al medirla respecto de la distancia hacia el centro histórico de la ciudad.

Tabla 3: Expansión Construcciones Logísticas

Periodo Acumulado	Construcciones Logísticas >= 10 M2			
	Distancia a Baricentro Comercial (kms)	Variación Periodo Anterior	Distancia a Centro Historico (kms)	Variación Periodo Anterior
2020	6,19	9,17%	5,68	15,92%
2015	5,67	21,41%	4,90	25,32%
2010	4,67	21,61%	3,91	14,33%
2005	3,84	28,43%	3,42	-5,79%
2000	2,99	13,26%	3,63	-13,57%
1995	2,64	-8,01%	4,20	-9,87%
1990	2,87	2,14%	4,66	4,02%
1985	2,81		4,48	

Las imágenes 7 y 8 demuestran la expansión logística respecto de las construcciones logísticas. En ellas se puede apreciar como entre los años 1990 y 2020 existe un desplazamiento hacia el sector norponiente de la RMSCh.



Imagenes 7 (izq) y 8 (der): Expansión logística de las construcciones en metros cuadrados.

4.2. Accesibilidad

De acuerdo con las ecuaciones (3) y (4), la accesibilidad se midió para las construcciones con uso de suelo logístico. En la imagen 9 se observa el beta utilizado para medir la accesibilidad.

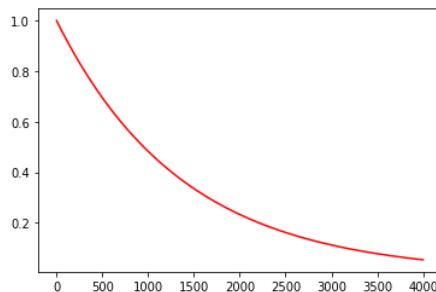


Imagen 9 (izq): Beta de la ecuación (3) en la Función Exponencial de la ecuación (4)

Para tener una mejor resolución del problema, nuestro estudio se concentra en la medición de la accesibilidad a construcciones logísticas. Para conocer mejor como es la accesibilidad, se proponen dos mediciones para la accesibilidad a las construcciones logísticas. Primero, se midió la accesibilidad de las IL menores o igual a 9 metros cuadrados (m^2), considerando el supuesto de que ellas están localizadas, en su mayoría, en sitios donde existen viviendas y oficinas, y en particular, de gran altura, edificios. El mercado inmobiliario de vivienda en altura se caracteriza por ofrecer a sus clientes un departamento u oficina más un estacionamiento y una bodega. También las oficinas, en muchos casos, cuentan con el desarrollo de bodegas en sus edificaciones.

La segunda medición se realizó para las construcciones logísticas a partir de los 10m².

Tal como se ve en la imagen 10, la accesibilidad para construcciones logísticas menores o iguales a 9 m² tiene una alta accesibilidad en la zona nororiente de la RMSCh, puesto que es esa zona es donde se concentra la mayor cantidad de m² de vivienda y oficinas en altura. Además, de acuerdo con las normativas regulatorias que rigen según la ley general de urbanismo y construcción y la correspondiente ordenanza, para utilizar las IL construidas en edificios habitacionales, son los comités de propietarios de las viviendas del edificio quienes deben autorizar un uso distinto al residencial para aquellas IL, por lo que es raro encontrar que esas IL tengan un uso común de almacenamiento para fines comerciales.

La imagen 11 nos muestra la accesibilidad a IL sobre los 10 m². Se visualiza que la mayor accesibilidad está en el centro de la RMSCh y capital de Chile, Santiago. Como se demostró en la sección de expansión logística, los usos de suelo logístico, tanto en suelo como en construcciones, se están desplazando hacia las zonas suburbanas y exurbanas, existiendo un fuerte incremento de suelo y construcciones de IL en zonas con menor distancia a los puertos de la RV.

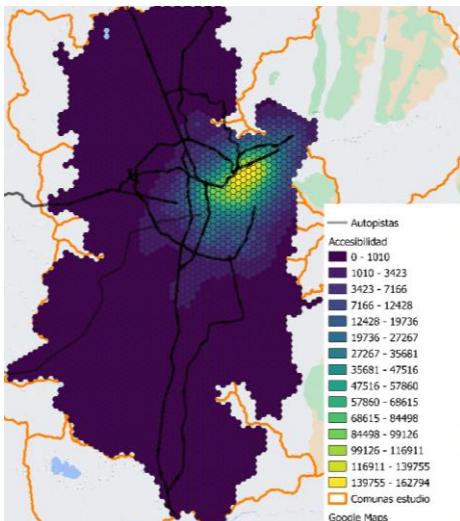


Imagen 10: Accesibilidad IL <= 9 m².
Año 2015

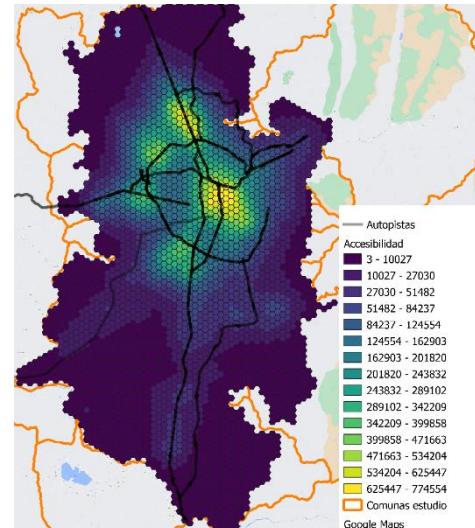


Imagen 11: Accesibilidad IL >= 10 m².
Año 2015

4.3. Modelo elección de localización

De acuerdo con la metodología presentada en la sección 2.3., se estimaron modelos de elección de localización (MED) que toman los ALU sobre sus IL, de acuerdo con la segmentación presentada en la sección 3.2. para un periodo de tiempo entre los años 2016 al 2020.

La estimación de MED de las IL son de acuerdo con la segmentación descrita en sección 3.2. Los modelos muestran los resultados del modelo *logit* multinomial con 19 posibles alternativas de localización consideradas para cada observación basadas en sorteos aleatorios.

Los resultados que se muestran en la tabla 4 contienen cuatro de cinco variables basadas en la proximidad a la infraestructura de transporte y logística. Si bien inicialmente se consideró al Puerto

de Gran Valparaíso, ubicado en la RV, esta variable no considerada en los modelos finales, pues los signos son contrarios a las expectativas y presentan una alta correlación con la distancia hacia el aeropuerto, dado que el Aeropuerto de Santiago, como la salida de la RMSCh hacia el Puerto del Gran de Valparaíso, quedan en una zona geográfica similar.

La variable precio del suelo tiene el signo negativo esperado para todos los modelos, indicando que, *ceteris paribus*, localizaciones de menor precio son más atractivas para localizarse.

El tamaño de la muestra para el segmento 1 es de 43.061 observaciones. Se observa que las variables distancia a la estación de metro más cercana, accesibilidad a construcciones habitacionales y el valor del suelo, son muy importantes en la decisión de localización. Los signos hacen sentido, verificando el supuesto inicial de que a este segmento de IL se localizan junto a construcciones habitacionales.

Tabla 4: Resultados Modelos de Localización de Construcciones Logísticas

Variable	Segmento 1 IL <= 9 m2			Segmento 2 Calidad 1 IL >=10 m2			Segmento 3 Calidad 2, 3 IL >=10 m2			Segmento 4 Calidad 4, 5 IL >=10 m2		
	Coeficiente	Estadístico t	p-value	Coeficiente	Estadístico t	p-value	Coeficiente	Estadístico t	p-value	Coeficiente	Estadístico t	p-value
Distancia al Aeropuerto							-5,72E-05	-14,1	0			
Distancia a entrada más cercana a Autopista										-0,000129	-9,05	0
Distancia a estación de Metro más cercana	-0,000239	-48,1	0							-9,67E-05	-13,7	0
Distancia a Puerto de San Antonio				-9,02E-05	-4,36	1,33E-05						
Accesibilidad a construcciones habitacionales	2,30E-07	4,73E-09	0							5,35E-07	25,1	0
Accesibilidad a construcciones comerciales										9,65e-07	11,1	0
Accesibilidad a construcciones comerciales >= 400 m2				9,43E-06	5,1	3,47E-07						
Accesibilidad a IL >= 10 m2				2,82E-06	2,09	0,0365						
Accesibilidad a suelo estacionamiento sin construcciones				1,73E-05	20,7	0						
Accesibilidad a suelo destino logístico							7,57E-08	5	3,13E-06			
Accesibilidad a Población							-6,26E-06	-9,69	0	-2,28E-05	-28,2	0
Precio de Suelo	-0,000319	-52,4	0	-3,05E-06	20,7	0	-2,37E-07	-2,78	0,00537	-5,35E-06	-9,13	0
Max. Verosimilitud Inicial	-128.999,20			-1.129,39			-3621,84			-10538,99		
Max. Verosimilitud Final	-112.179,30			-413,3289			-3.333,017			-9292,797		
ρ^2	0,13			0,634			0,0797			0,118		
Cantidad de Observaciones	43.061			377			1.209			3.518		

Para el segmento 2 contamos con 377 observaciones. Como se mencionó en la sección 3.2., el promedio de metros cuadrados edificados fue de 1.068,66 m² y el 87,3% se construyó sobre suelo con destino logístico. Se estimaron las variables ya mencionadas, dando como resultado que la distancia al Puerto de San Antonio en la RV, la accesibilidad a construcciones comerciales sobre 400 m², la accesibilidad a las IL sobre 10 m², la accesibilidad suelo con destino estacionamiento y un valor del precio del suelo bajo, son variables importantes en las decisiones de localización para estas IL. Estos resultados pueden ser concordantes con el supuesto de que la calidad catalogada

como 1 por el SII, puede ser un atractivo para almacenar bienes que requieren de muy buenas IL, las que provienen directamente del puerto hacia la RMSCh, requiriendo de espacio o suelo para estacionar vehículos, para luego de ser almacenadas en las IL, donde a continuación los bienes son distribuidos hacia centros comerciales sobre 400 m².

Para el segmento 3 se obtuvo 1.209 observaciones, donde el promedio de las edificaciones fue de 827,8 m² y el 77,79% está sobre suelo logístico. Considerando las mismas variables descritas en la sección 3.3., resultaron significativas la distancia al aeropuerto, la accesibilidad a suelo con destino logístico, la accesibilidad a la población y el precio del suelo. Se desprende que para este segmento la localización está influenciada por las regulaciones existentes, las cuales no incentivan la localización en zonas con buena accesibilidad hacia donde viven las personas, por lo que buscan zonas periféricas.

El segmento 4 tiene 3.518 observaciones, donde el promedio edificado fue de 64,15 m² y solo el 26,12% está sobre suelo logístico, considera como atributos de localización la cercanía con las entradas a las autopistas, cercanía a estaciones del metro de Santiago, accesibilidad a construcciones habitacionales y comerciales, pero sin una buena accesibilidad a la población. Lo anterior se puede explicar en el sentido de que las IL pertenecientes a este segmento son construcciones de mayor antigüedad, las que han permanecido mientras se desarrollan viviendas en su entorno.

5. CONCLUSIONES

Este artículo propone una metodología para evaluar y explicar las decisiones de localización de los ALU sobre sus IL, realizando un caso de estudio para la RMSCh. Para ello, primero se estudia y mide la expansión logística, identificando como se han localizado las IL, en tamaño del suelo y tamaño de las construcciones. También se mide la accesibilidad para distintos usos de suelo de las construcciones en el área estudiada. Se discute sobre como generar segmentaciones de ALU y sus IL, a fin de ayudar al planificador urbano para mejorar la eficiencia en el uso de suelo. Con este fin y a partir de información del SII, se proponen segmentaciones de IL, estimando modelos de elección de localización para cada uno de ellos.

Nuestros resultados muestran que existió un cambio de orientación en el centro de gravedad de las IL, tanto en tamaño de suelo como en tamaño de las construcciones logísticas, donde en un comienzo las IL se localizaban hacia el sur de la RMSCh, para luego a partir del periodo 1991-1995 da un giro el baricentro hacia la zona norponiente, donde se ubica el Aeropuerto de Santiago y la salida hacia el Puerto del Gran Valparaíso. Esto provocó que la medida de expansión disminuyera, pero a partir de la primera década del año 2000 este fenómeno de expansión se acentuó hacia la periferia, particularmente entre los años 2011-2015.

Al estimar modelos de localización de las IL para el periodo 2016-2020, se observa que las grandes IL, segmento 2, tuvieron un cambio de orientación espacial, siendo la menor distancia hacia el Puerto de San Antonio el gran estímulo para la localización logística. Los segmentos 3 y 4 no tienen este cambio de orientación. En el caso del segmento 4 se observa como los patrones de localización están orientados a la cercanía autopistas, estaciones de metro y construcciones habitacionales y comerciales.

En los resultados se observa que existe una desconexión entre las distintas IL y los puntos de consumo, generando patrones de localización que pueden implicar un aumento de las externalidades generadas por las actividades de la logística urbana.

Una limitación importante de este estudio fue la falta de datos públicos para caracterizar y segmentar los ALU y sus IL. Es posible que las IL requieren de diferentes localizaciones y espacios logísticos. Por ejemplo, no todas las IL están localizadas sobre un uso de suelo logístico, existiendo construcciones logísticas sobre suelo comercial, habitacional e industrial. Abordar este desafío permitiría reconocer la existencia de la heterogeneidad de ALU y como ellos toman decisiones de localización, para así poder integrarlos en los planes de desarrollo urbano. Lo anterior requiere el desarrollo de una investigación acabada sobre quiénes son los ALU, a fin de clasificarlos y proponer una reorganización del espacio geográfico.

Esta investigación es relevante para el planificador urbano a fin de incorporar a los ALU en los instrumentos de planificación, dado que contribuyen a diversas externalidades negativas, minimizando la eficiencia en el uso de suelo, y finalmente impactando en la calidad de vida de las personas. Un próximo paso podría ser el evaluar el impacto que generaría el desarrollo de un tren de carga y de pasajeros, entre los puertos de la RV y la RMSCh.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aljohani, K., & Thompson, R. G. (2016). Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: Taxonomy and review of literature. In *Journal of Transport Geography*.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.08.009>
- Arrieta-Prieto, Mario; Abdelrahman, Ismael; Rivera-Gonzalez, Carlos; Mitchell, J. (2020). *Location of Urban Micro-consolidation Centers to Reduce Social Cost of Last-Mile Deliveries of Cargo: a Heuristic Approach*.
http://eaton.math.rpi.edu/faculty/Mitchell/papers/UMC_Arrieta_Ismael_Rivera_Mitchell.pdf
- Bektaş, T., Ehmke, J. F., Psaraftis, H. N., & Puchinger, J. (2019). The role of operational research in green freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 274(3), 807–823. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.001>
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (M. Press (Ed.)).
- Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models , Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland. *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*.
- Browne, M., Allen, J., Nemoto, T., Patier, D., & Visser, J. (2012). Reducing Social and Environmental Impacts of Urban Freight Transport: A Review of Some Major Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 19–33.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.088>
- Carbone, V., Rouquet, A., & Roussat, C. (2017). The Rise of Crowd Logistics: A New Way to Co-Create Logistics Value. *Journal of Business Logistics*, 38(4), 238–252.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jbl.12164>
- Clark, D., & Pennington-Cross, A. (2016). Determinants of industrial property rents in the

- Chicago metropolitan area. *Regional Science and Urban Economics*, 56, 34–45.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.regsiurbeco.2015.10.003>
- Combes, F. (2019). Equilibrium and Optimal Location of Warehouses in Urban Areas: A Theoretical Analysis with Implications for Urban Logistics. *Transportation Research Record*. <https://doi.org/10.1177/0361198119838859>
- Cox, T., & Hurtubia, R. (2020). Subdividing the sprawl: Endogenous segmentation of housing submarkets in expansion areas of Santiago, Chile. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2399808320947728. <https://doi.org/10.1177/2399808320947728>
- Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2004.07.002>
- Dablanic, L. (2011). City distribution, a key element of the urban economy: Guidelines for practitioners. In *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*. <https://doi.org/10.4337/9780857932754.00007>
- Dablanic, L., Ogilvie, S., & Goodchild, A. (2014). Logistics Sprawl: Differential Warehousing Development Patterns in Los Angeles, California and Seattle, Washington. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. January 12-16, Washington, D.C.* <https://doi.org/10.3141/2410-12>
- Dablanic, L., & Rakotonarivo, D. (2010). The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.021>
- Dablanic, L., & Ross, C. (2012). Atlanta: a mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion (PAM). *Journal of Transport Geography*, 24, 432–442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.05.001>
- De Oliveira, G. F., & De Oliveira, L. K. (2016). Stakeholder's Perceptions of City Logistics: An Exploratory Study in Brazil. *Transp. Res. Procedia.*, 12, 339.
- de Oliveira, L. K., de Araújo, G. G. F., & de Oliveira, I. K. (2019). How to explain the location of logistics warehouses from the urban quality-of-life index and the local supply index? *WSB Journal of Business and Finance*, 53(2), 15–21. <https://doi.org/doi:10.2478/wsbjbf-2019-0018>
- Dubie, M., Kuo, K. C., Giron-Valderrama, G., & Goodchild, A. (2020). An evaluation of logistics sprawl in Chicago and Phoenix. *Journal of Transport Geography*, 88, 102298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.008>
- Estudios / GPS Global Property Solutions*. (n.d.). Retrieved June 23, 2021, from <https://gpsproperty.cl/estudios>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

- González-Feliu, J. (2018). Urban logistics and spatial territorial intelligence indicators INTERFASES Pág. 135 urbaN logistics aNd sPatial territorial iNtelligeNce iNDicators: state of the art, tyPology aNd imPlicatioNs for latiN americaN cities. *Interfases, ISSN-e 1993-4912, N°. 11, 2018, Págs. 135-176, 11, 135-176.*
<https://doi.org/10.26439/interfases2018.n011.2958>
- Guerin, L., Vieira, J. G. V., de Oliveira, R. L. M., de Oliveira, L. K., de Miranda Vieira, H. E., & Dablanc, L. (2021). The geography of warehouses in the São Paulo Metropolitan Region and contributing factors to this spatial distribution. *Journal of Transport Geography, 91, 102976.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.102976>
- He, M., Shen, J., Wu, X., & Luo, J. (2018). Logistics space: A literature review from the sustainability perspective. In *Sustainability (Switzerland)*.
<https://doi.org/10.3390/su10082815>
- Heitz, A., Launay, P., & Beziat, A. (2019). Heterogeneity of logistics facilities: an issue for a better understanding and planning of the location of logistics facilities. *European Transport Research Review*. <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0341-5>
- Helbich, M., Brunauer, W., Hagenauer, J., & Leitner, M. (2013). Data-Driven Regionalization of Housing Markets. *Annals of the Association of American Geographers, 103*(4), 871–889.
<https://doi.org/10.1080/00045608.2012.707587>
- Holguin-Veras, J., Ramirez-Rios, D., Ng, J., Wojtowicz, J., Haake, D., Lawson, C. T., Calderón, O., Caron, B., & Wang, C. (2021). Freight-Efficient Land Uses: Methodology, Strategies, and Tools. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/su13063059>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). Censo 2017. In *Censo 2017*.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2013.748122>
- Kang, S. (2018). Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA. *Journal of Transport Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.007>
- Kang, S. (2020). Relative logistics sprawl: Measuring changes in the relative distribution from warehouses to logistics businesses and the general population. *Journal of Transport Geography, 83*. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102636>
- Khalili, F. B., Antunes, A. P., & Mohaymany, A. S. (2020). Evaluating interregional freight accessibility conditions through the combination of centrality and reliability measures. *Journal of Transport Geography, 83*, 102665.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102665>
- Li, S., Wei, Z., & Huang, A. (2018). Location Selection of Urban Distribution Center with a Mathematical Modeling Approach Based on the Total Cost. *IEEE Access*.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876191>
- Lim, H., & Park, M. (2020). Modeling the Spatial Dimensions of Warehouse Rent Determinants: A Case Study of Seoul Metropolitan Area, South Korea. In *Sustainability* (Vol. 12, Issue 1).
<https://doi.org/10.3390/su12010259>
- Marcucci, E., Gatta, V., Marciani, M., & Cossu, P. (2017). Measuring the effects of an urban freight policy package defined via a collaborative governance model. *Research in*

Transportation Economics. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.09.001>

McFadden, D. (1978). Modelling the choice of residential location. In *Spatial Interaction Theory and Planning Models*.

Onstein, A. T. C., Bharadwaj, I., Tavasszy, L. A., van Damme, D. A., & el Makhloifi, A. (2021). From XXS to XXL: Towards a typology of distribution centre facilities. *Journal of Transport Geography*, 94, 103128.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103128>

Östh, J., Lyhagen, J., & Reggiani, A. (2016). A new way of determining distance decay parameters in spatial interaction models with application to job accessibility analysis in Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(2), 344–363.
<https://doi.org/10.18757/ejtir.2016.16.2.3142>

Quak, H., Lindholm, M., Tavasszy, L., & Browne, M. (2016). From Freight Partnerships to City Logistics Living Labs – Giving Meaning to the Elusive Concept of Living Labs. *Transportation Research Procedia*, 12, 461–473.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.080>

Revelt, D., & Train, K. (1998). Mixed Logit with Repeated Choices: Households' Choices of Appliance Efficiency Level. *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 647–657.
<https://doi.org/10.1162/003465398557735>

Rześny-Cieplińska, J., & Szmelter-Jarosz, A. (2021). Stakeholders' Analysis of Environmental Sustainability in Urban Logistics: A Case Study of Tricity, Poland. In *Energies* (Vol. 14, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/en14051274>

Sahr, K., White, D., & Kimerling, A. J. (2003). Geodesic discrete global grid systems. *Cartography and Geographic Information Science*, 30(2), 121–134.
<https://doi.org/10.1559/152304003100011090>

Sakai, T., Beziat, A., & Heitz, A. (2020). Location factors for logistics facilities: Location choice modeling considering activity categories. *Journal of Transport Geography*.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102710>

SII. (2021). *Servicio de Impuestos Internos (Catastro Bienes Raíces)*. www.sii.cl

van den Heuvel, F. P., Rivera, L., van Donselaar, K. H., de Jong, A., Sheffi, Y., de Langen, P. W., & Fransoo, J. C. (2014). Relationship between freight accessibility and logistics employment in US counties. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 91–105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.11.002>

Wagner, T. (2010). Regional traffic impacts of logistics-related land use. *Transport Policy*.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.01.012>

Wegener, M. (2019). *Land-Use Transport Interaction Models BT - Handbook of Regional Science* (M. M. Fischer & P. Nijkamp (Eds.); pp. 1–18). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-36203-3_41-1

Yuan, Q. (2018). Environmental Justice in Warehousing Location: State of the Art. *Journal of Planning Literature*. <https://doi.org/10.1177/0885412217753841>

Yuan, Q., & Zhu, J. (2019). Logistics sprawl in Chinese metropolises: Evidence from Wuhan. *Journal of Transport Geography*, 74, 242–252.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.019>