



MODELO PARA SUSTENTAR UN CRECIMIENTO URBANO RESILIENTE EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Zapata, Isabel^{1*}; Cerda, Jorge²

Remisión inicial: 2019-05-29; **Remisión definitiva:** 2019-10-18; **Publicación:** 2019-12-21

Citación: Zapata, I. *et al.* (2019). Modelo para sustentar un crecimiento urbano resiliente en un contexto de cambio climático. En *XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city"*. UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8454. E-ISSN 2604-6512. DOI <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8454>

Resumen

En un escenario de urbanización creciente no planificado, con una proyección de aumento de eventos climáticos extremos; Iquique – Alto Hospicio es una conurbación fragmentada y vulnerable frente a amenazas naturales, afectando la consolidación y crecimiento urbano futuro de esta Área Metropolitana. El objetivo es fundamentar y mejorar la planificación y adaptación para el desarrollo urbano futuro, en la búsqueda de la sostenibilidad urbana en un contexto de cambio climático. Frente a ello, cobra importancia evaluar los niveles de vulnerabilidad y riesgos, de las alternativas de crecimiento del sistema metropolitano.

El propósito es orientar las decisiones de planificación, a partir de la construcción de un modelo del sistema urbano, cuya evaluación, permita señalar potenciales ejes de actuación para su ordenamiento futuro. Se obtiene una plataforma sistémica para formular distintos escenarios futuros, herramienta que orienta el proceso de toma de decisión pública en materia de planificación.

Para ello se cuantifican las superficies de huellas urbanas según cortes temporales y tipos de tejido urbano, definidos por clases de análisis de usos de suelo, intensidad de ocupación y nivel de consolidación; mediante fotointerpretación de aerofotogrametrías, midiendo el crecimiento histórico en el periodo 1982- 2017. Surge la necesidad de evaluar las vulnerabilidades y riesgos, desarrollando un diagnóstico que permita sustentar un claro conocimiento de las amenazas y vulnerabilidades que afecta al sistema metropolitano futuro de Iquique – Alto Hospicio.

Se desarrolla una metodología para evaluar distintos escenarios; en el marco de un proceso de planificación urbana y fortalecimiento de la institucionalidad pública (Gobierno Metropolitano). Ello, en un contexto de crecimiento futuro, en el cual se incrementarán las amenazas por escenarios de cambio climático y por ende se plantearán desafíos para la administración regional con las facultades que le atribuye la Ley 19.175 para reducir las vulnerabilidades, logrando de esta manera ciudades resilientes y con mayor capacidad de adaptación, sobre la base de la participación de los diferentes actores públicos y privados urbano regionales.

Considera instancias de participación de actores regionales claves con vasto conocimiento del territorio, para la selección y priorización de amenazas, así como la validación de los resultados. Además, se ha realizado una modelación meteorológica utilizando el modelo WRF para el año 2017 de meso-escala, y el modelo CALMET, para bajar la resolución a escala local incorporando la información de las estaciones meteorológicas de superficie disponibles de Alto Hospicio, y UNAP - Huaiquique.

Con dichos antecedentes, se cuantifican las vulnerabilidades actuales y futuras del sistema urbano desde un enfoque multidimensional (humano, físico, funcional, económico), mediante análisis multicriterio y probabilísticos de cambios climáticos para variables de temperatura y viento. Los ponderadores se obtienen a partir de los resultados de un Taller de participación, correspondiente al ejercicio de semaforización realizado para los temas de las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad para cada amenaza. Se obtiene como resultado, escenarios de desarrollo urbano propuestos para un crecimiento inteligente que considera la reducción de vulnerabilidad por efectos de cambio climático, y con ello minimizar los daños causados por las amenazas.

Se concluye en una evaluación del modelo utilizado, contribuyendo al desarrollo de un sistema urbano más resiliente, reduciendo la vulnerabilidad mediante mejores condiciones del sistema, en el contexto del desarrollo de procesos de planificación urbana.

¹ Socia empresa Habiterra Ltda, ² Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Geográfica ORCID 0000-0002-3526-9240, *Correo de contacto: izapata@habiterra.cl .



Abstract

In a scenario of growing unplanned urbanization, with a projection of increasing extreme weather events; Iquique - Alto Hospicio is a fragmented and vulnerable conurbation against natural threats, affecting the consolidation and future urban growth of this Metropolitan Area. The objective is to base and improve planning and adaptation for future urban development, in the search for urban sustainability in a context of climate change. Against this, it is important to evaluate the levels of vulnerability and risks of the growth alternatives of the metropolitan system.

The purpose is to guide the planning decisions, based on the construction of a model of the urban system, whose evaluation, allows to indicate potential action axes for its future ordering. A systemic platform is obtained to formulate different future scenarios, a tool that guides the public decision-making process in planning matters.

For this, the surfaces of urban footprints are quantified according to temporary cuts and types of urban fabric, defined by classes of land use analysis, intensity of occupation and level of consolidation; through photointerpretation of aerial photography, measuring historical growth in the period 1982-2017. The need arises to assess vulnerabilities and risks, developing a diagnosis that supports a clear knowledge of the threats and vulnerabilities that affects the future metropolitan system of Iquique - Alto Hospicio.

A methodology is developed to evaluate different scenarios; within the framework of an urban planning process and strengthening of public institutions (Metropolitan Government). This, in a context of future growth, in which the threats due to climate change scenarios will increase and therefore will pose challenges for the regional administration with the powers attributed to it by Law 19.175 to reduce vulnerabilities, thus achieving cities resilient and with greater adaptive capacity, based on the participation of the different regional urban public and private actors.

It considers instances of participation of key regional actors with vast knowledge of the territory, for the selection and prioritization of threats, as well as the validation of the results. In addition, a meteorological modeling has been carried out using the WRF model for the 2017 meso-scale year, and the CALMET model, to lower the resolution at local scale incorporating the information of the available surface meteorological stations of Alto Hospicio, and UNAP – Huaiquique

With this background, current and future vulnerabilities of the urban system are quantified from a multidimensional approach (human, physical, functional, economic), through multicriteria and probabilistic analyzes of climatic changes for temperature and wind variables. The weights are obtained from the results of a Participation Workshop, corresponding to the traffic light exercise carried out for the issues of the different dimensions of vulnerability for each threat. The result is urban development scenarios proposed for intelligent growth that considers the reduction of vulnerability due to climate change effects, and thereby minimizing the damage caused by threats.

It concludes in an evaluation of the model used, contributing to the development of a more resilient urban system, reducing vulnerability through better system conditions, in the context of the development of urban planning processes.

Palabras Clave: Resiliencia; Vulnerabilidad; Área metropolitana; Cambio climático

Key words: Resilience; vulnerability; Metropolitan area; Climate Change

1. Introducción

Las definiciones relativas a vulnerabilidad se orientan a los efectos que a nivel local son provocados por el cambio climático global, el cual reconoce dos aspectos a considerar; la condición de peligro o amenaza sobre la población y los bienes materiales que sustentan el hábitat humano incluida las actividades productivas y la infraestructura.

El propósito de este trabajo es presentar una forma de evaluar la vulnerabilidad del sistema urbano Iquique – Alto Hospicio en Chile, que cubra los ciclos de vida de las intervenciones futuras de adaptación al cambio climático, utilizando métodos consistentes, recomendados y probados por la experiencia internacional en la materia. El objetivo es fundamentar y mejorar la planificación y adaptación para el desarrollo urbano futuro de Iquique – Alto Hospicio, en la búsqueda de la sostenibilidad del desarrollo urbano en un contexto de cambio climático.

El enfoque adoptado para lo anterior es el “sistema territorial- urbano”, desde una perspectiva multidimensional de la vulnerabilidad del mismo sistema (como se explicará más adelante). Es decir, considera tanto la dimensión humana, física, funcional, como económica e institucional. Esto significa incorporar a dicho enfoque el análisis de peligros o amenazas por fenómenos naturales, teniendo una aproximación dinámica del concepto de vulnerabilidad.

1.1 Área de estudio Iquique-Alto Hospicio

La comuna de Iquique se localiza en la zona norte de Chile, perteneciente administrativamente a la Provincia de Iquique, Región de Tarapacá. Cubre una superficie aproximada de 2290 km² y limita al norte con la comuna de Huara, al oriente con las comunas de Alto Hospicio y Pozo Almonte, al sur con la Región de Antofagasta y al poniente con el Mar Chileno.

Por su parte, la comuna de Alto Hospicio se localiza en la zona norte de Chile, perteneciente administrativamente a la Provincia de Iquique, Región de Tarapacá. Cubre una superficie aproximada de 2290 km² y limita al norte con la comuna de Huara, al oriente y sur con la comuna de Pozo Almonte, y al poniente con la comuna de Iquique. Juntas conforman la conurbación o área metropolitana de Iquique-Alto Hospicio

Figura 1. Localización comuna Iquique y Alto Hospicio, contexto región de Tarapacá y país Chile

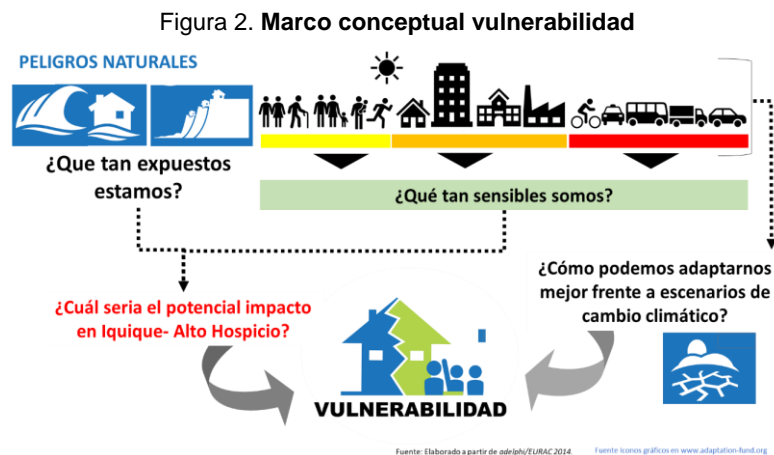


Fuente: Elaboración propia.

En el contexto nacional, la comuna de Iquique se reconoce como un territorio que alberga uno de los principales centros urbanos del norte de Chile correspondiente a la Ciudad de Iquique, donde se concentra el desarrollo económico de la Región de Tarapacá dado que allí se localizan actividades de diversa índole, entre los que destacan la actividad portuaria y el comercio importador de gran escala vinculado a la ZOFRI (Zona Franca de Iquique). Así mismo la ciudad se reconoce como un centro prestador de servicios diversificados, donde los sectores comercio, restaurantes y hotelería, son relevantes para la economía local. La ciudad de Alto Hospicio, ha albergado fuertes procesos de crecimiento residencial, mediante la localización de viviendas con subsidios del Estado, acrecentando factores de segregación por homogeneidad, y diferenciación de su plano de emplazamiento que se extiende en una meseta a 400 metros de altitud sobre el litoral, cuya relación interurbana se desarrolla a través de un farellón costero, constituyéndose en una barrera física geográfica. En esta estructura territorial son gravitantes las interconexiones viales que se han materializado o se proyectan ejecutar, consolidando la cabecera urbana regional Iquique - Alto Hospicio como un nodo multifuncional, reforzando los flujos hacia el borde costero sur e interior de la región.

1.2 Enfoque de vulnerabilidad

Como se muestra en la figura 2, la vulnerabilidad resulta finalmente de la composición de dos aspectos, siendo por una parte los riesgos a los cuales los territorios están expuestos, y por otra a las actividades que se desarrollan en dichos territorios (GIZ 2014).



Fuente: Elaboración propia, a partir de adelphi/ EURAC 2014.

Para la aproximación de análisis del “que tan sensible somos” se ha adoptado por representar y construir el “sistema territorial urbano” que utiliza el territorio. Para esto se construyó y calibró un modelo matemático que replicara las relaciones locativas de las actividades, considerando tiempos de viaje entre zonas del territorio, tipologías morfológicas de ocupación, y finalmente la huella urbana en su extensión.

Las amenazas identificadas de forma participativa por actores locales en el área metropolitana de Iquique-Alto Hospicio corresponden a peligros de inicio rápido y lento. Cada una de estas fue tratada con metodologías tradicionales. Sólo las amenazas asociadas a variables meteorológicas fueron abordadas con una metodología novedosa en lo que respecta a los estudios de planificación territorial, y que además permite la incorporación de efectos proyectados de cambio climático.

2. Metodología del Modelo de desarrollo urbano resiliente al cambio climático

El modelo construido consta de tres partes que son:

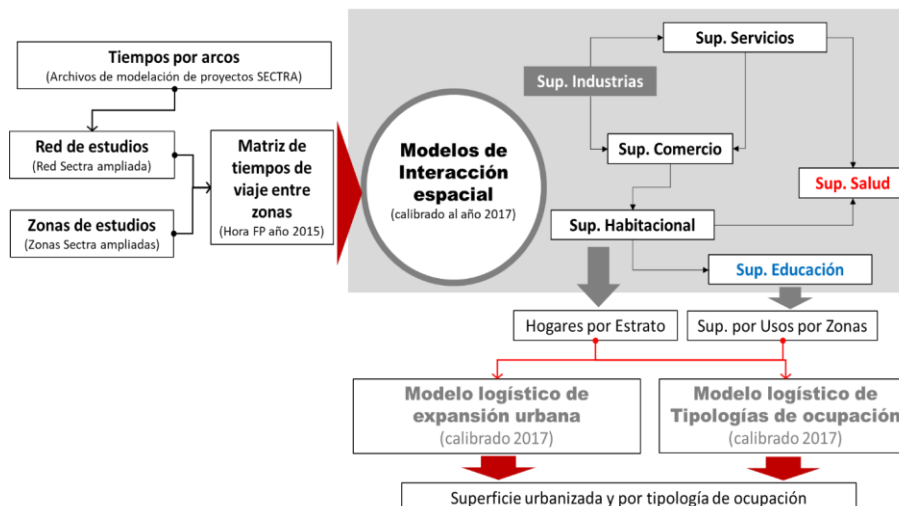
- El modelo de sistema urbano, y su prospección (evaluación) de distintos escenarios.
- La evaluación de riesgos naturales incorporando efectos del cambio climático.
- La evaluación de la vulnerabilidad territorial, integrando ambos elementos anteriores.

A continuación, se presenta la metodología desarrollada en cada caso.

2.1 Modelo de sistema urbano

El modelo construido se representa en la siguiente figura, el que muestra un modelo de interacción espacial entre actividades, que se alimenta de las condiciones de interacción presente en el territorio, y cuyo resultado es la expresión morfológica del uso del territorio.

Figura 3. Modelo de sistema territorial urbano



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Condiciones de interacción

El diagrama de flujo del modelo comienza con la caracterización del sistema de transporte en base a la utilización de la red de transporte de estudios y proyectos SECTRA², con el objetivo de determinar o estructurar la matriz de tiempos de viaje entre zonas.

2.1.2 El modelo de interacción espacial

Los modelos de interacción espacial no son de base estadística, como los modelos econométricos, sino que, a través de relaciones gravitacionales, explican las cantidades registradas en cada una de las zonas. Por otra parte, una relación gravitacional se constituye por una masa generadora, una masa atractora, y una función de fricción espacial. La función de fricción representa el efecto que ejerce la separación espacial entre la masa atractora y la

² Secretaria de Transporte, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Gobierno de Chile.



generadora, en las interacciones que se puedan dar entre ellas. El principio es que, a mayor separación entre las masas, menor es la interacción que se da entre ellas.

La secuencia de relaciones modeladas es la siguiente:

Paso 1.- La superficie de industrias (por zonas) determina la superficie de servicios (por zonas).

Paso 2.- La superficie de servicios y habitacional (por zonas) determinan la superficie de comercio (por zonas).

Paso 3.- La superficie de comercio y servicios (por zonas) determinan la superficie habitacional (por zonas).

Paso 4.- La superficie habitacional (por zonas) determina la superficie educacional (por zonas).

Paso 5.- La superficie habitacional y de servicios (por zonas) determina la superficie de salud (por zonas)

Como se puede ver, la superficie habitacional y la comercial son explicadas y explican a la vez. Esto genera el proceso iterativo, propio de los modelos gravitacionales, en los que se calculan todos los modelos varias veces, cambiando sus valores. Este proceso iterativo continúa hasta que los valores de todas las zonas no cambien de una iteración a otra (lo que se denomina convergencia de los resultados del modelo).

La calibración de los modelos de interacción espacial corresponde al proceso por el cual se calculan los parámetros de manera de replicar la real distribución zonal del uso explicado. En este caso el método de calibración aplicado correspondió a la técnica de minimizar el error cuadrático medio. Con esto se obtienen los parámetros para cada modelo.

Analizando los resultados obtenidos en la calibración, se puede decir lo siguiente:

- La superficie de servicio está determinada por la superficie industrial contigua (en la misma zona) y no la lejana.
- La superficie de comercio es mayoritariamente explicada por la superficie de servicio, y en mucho menor grado por la superficie habitacional. Nuevamente la fricción espacial es muy alta, es decir, la superficie comercial se localiza directamente donde está la superficie de servicios.
- Para explicar la superficie habitacional, es más importante la superficie de comercios que la de servicios. En este caso la fricción espacial pierde peso, es decir, que la localización de residencias es en el área de influencia de los comercios-servicios, y no en la misma zona
- Las superficies de educación y salud se localizan en áreas de influencia del uso habitacional y de servicios.

2.1.3 Modelo de huella urbana y tipologías de ocupación

El modelo de huella urbana y tipologías requiere previamente de la cuantificación espacial tanto de la huella urbana como de las distintas tipologías en el tiempo. Lo anterior se realizó mediante la identificación del área urbanizada en fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles; lo cual permitió medir las hectáreas de suelo que se han incorporado al uso urbano, y por ende, calcular el consumo anual aproximado de suelo urbano para la conurbación Iquique-Alto Hospicio.



A efectos del análisis del proceso de evolución y urbanización realizado, importa señalar que se definieron los siguientes años de corte: 1982, 1992, 2002, 2012 y 2017. El proceso de análisis inició con el catastro de la zona de estudio para el año 2017, compuesta por los cascos urbanos de Iquique, Alto Hospicio y Playa Blanca, y las zonas rurales aledañas. De esta imagen temporal se generó la cobertura de "mancha" o área urbana, la cual se complementó con información censal, y también, se levantó la cobertura referida a ejes viales y de accesibilidad para la zona.

El objetivo fue también identificar distintas morfologías al interior de la huella urbana, a partir de una imagen de alta resolución actual. Para lo anterior se realizó un análisis de fotointerpretación combinando la información de uso de suelo urbano, intensidad de desarrollo y nivel de consolidación, relevando los cambios de superficies de las tramas multitemporal, que dimensionen las transformaciones morfológicas y funcionales que a grandes rasgos han experimentado los núcleos urbanos en las últimas décadas.

Las tipologías identificadas fueron:

- Tejido Residencial Continuo (denso y densidad media)
- Tejido Residencial Discontinuo en Bloques
- Tejido Residencial Discontinuo Disperso o de Baja Densidad
- Tejido de Zonas Industriales, Comerciales y de Transportes, o de equipamientos.
- Zonas en Construcción o subdivisión

Una vez sistematizada la información requerida, se procedió a construir los modelos econométricos de huella urbana y tipologías.

En este caso el modelo debe tomar como insumo la distribución de las superficies construidas por uso de suelo, y los tiempos de viaje respecto de puntos estructurantes en la ciudad (centralidades definidas a priori), para predecir la superficie de huella urbana por zona, y las proporciones de dicha superficie para las distintas tipologías de ocupación.

Analizando tanto la huella urbana por zona, como las distintas tipologías, y entendiéndolas como proporciones de utilización de la superficie total de cada zona, se estructura un problema logístico, en el cual la variable a explicar es una proporción o probabilidad que va entre 0 y 1. Esta problemática se aborda con la técnica de los modelos econométricos logísticos, en los cuales las variables a ser explicadas son las proporciones (entre 0 y 1), y las variables explicativas son las superficies construidas por actividad y los tiempos a las centralidades.

El modelo logístico se calibró con paquetes estadísticos, y el resultado son los coeficientes de regresión antes mencionados, y una serie de indicadores de ajuste estadístico. Los coeficientes de regresión que resultaron ser estadísticamente significativos.

De la calibración del modelo de proporción de huella urbana se deduce que la presencia de superficies construidas de comercio, servicios, industrias, y salud tienden a aumentar la proporción, es decir, a aumentar la huella urbana. Por otra parte, donde hay superficies educacionales y de otros usos, la huella tiende a ser más reducida. Respecto de los hogares, los grupos de ingreso alto y bajo tienden a aumentar la huella, mientras que los hogares de estrato medio a disminuirla. Los tiempos de viajes son todos negativos, es decir que, a mayor tiempo de viaje, la huella urbana es más reducida (resultado que es coherente con la teoría).

De todos los coeficientes, los de mayor peso (en valor absoluto) son los asociados a tiempos de viajes, por lo que dicha variable pesa más que los tipos de superficies presentes en las zonas.

Los modelos por tipologías muestran características diferenciadas entre sí.

2.2 Evaluación de riesgos naturales y cambio climático

Como ya se mencionó, las siguientes son las amenazas analizadas en este estudio, que surge de un proceso participativo con actores locales en el área metropolitana de Iquique-Alto Hospicio.

¿Cuáles son las amenazas que afectan el desarrollo urbano Iquique- Alto Hospicio?	Peligros de inicio rápido	• Inundaciones costeras, marejadas y aumento del nivel del mar
		• Inundaciones fluviales o de tierra adentro (flujos en quebradas)
		• Eventos extremos de precipitación pluvial
		• Actividad sísmica y sus efectos (tsunami)
		• Erupciones volcánicas
		• Deslizamientos de tierra
	Peligros de inicio lento	• Vientos extremos
		• Hundimiento de suelo producto de la salinidad
		• Olas de calor
		• Erosión costera
		• Salinización de los acuíferos
		• Sequías
	• Otros efectos producto por las alteraciones de T° (Ej: escasez de agua o alimentos, etc)	

La situación geográfica en que se emplazan las ciudades de Iquique y Alto Hospicio determina que los fenómenos de actividad sísmica, tsunamis y de remociones en masa (analizadas, separadamente en este estudio, como procesos de laderas y como flujos de barro y/o detritos) constituyan las amenazas prioritarias en el área de estudio, donde las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del relieve lo convierten en la principal fuente de fenómenos naturales de este tipo.

Con base en los antecedentes disponibles, se elaboraron mapas que señalan cuáles son los sectores más expuestos a sufrir los efectos de la potencial ocurrencia de las amenazas estudiadas. Estos mapas fueron contrastados con observaciones en terreno. Dada la escala, alcances y plazos de este estudio no se realizaron modelos numéricos como simulaciones para estos procesos. Además, en la medida que fue posible, se realizó una aproximación de probabilidades cualitativas (Muy probable, Bastante Probable, Probable, Poco Probable, Improbable) como se señala en la “Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial” (SUBDERE³ 2011).

³ Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo



2.2.1 Amenazas asociadas a fenómenos meteorológicos, y la inclusión de los efectos del cambio climático: Aumento de Temperatura y Vientos extremos

Uno de los aspectos novedosos en este estudio lo constituye la utilización de un modelo meteorológico para la cuantificación de las amenazas asociadas a estas variables. Es así como se aplicó una metodología ampliamente utilizada en estudios de calidad de aire, pero nunca aplicada en estudios de planificación territorial.

Esta metodología contempla realizar una modelación meteorológica utilizando el modelo WRF para el año 2017 (según lo recomendado en la Guía para modelación de calidad del aire para proyectos que ingresan al sistema de evaluación de impacto ambiental). WRF es un modelo meteorológico de meso-escala, que genera campos meteorológicos discretos, en 3D, con distintas variables meteorológicas (con resolución temporal horaria). Además, se utilizó el modelo CALMET, para bajar la resolución espacial de la modelación meteorológica, y también para incorporar la información de las estaciones meteorológicas de superficie disponibles en el área de estudio.

Los resultados de este modelo es una estimación de variables meteorológicas relevantes (temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, precipitaciones, presión atmosférica, etc.) en grillas de resolución de 1x1 Km, a 10m de altura (primera capa). La ventaja de esto es que se genera información meteorológica de un año completo para zonas en donde no existen estaciones de monitoreo.

Frente a la necesidad de incorporar efectos del cambio climático, la metodología antes descrita permite incorporar proyecciones de cambio climático para el área de estudio, bajo el gran supuesto que el comportamiento temporo-espacial de la atmosfera será el mismo que en la actualidad. Para aplicar lo anterior, la fuente de información consultada para determinar los efectos del cambio climático en el área de estudio corresponde al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, dependiente de la Universidad de Chile. De su plataforma de simulaciones climáticas, se obtuvo, para el área de estudio. Estos valores se aplicaron (suma o resta) a los valores estimados por el modelo WRF-CALMET para cada grilla, con lo que se obtuvo una predicción del comportamiento atmosférico bajo el efecto del cambio climático proyectado.

Por otra parte, de los registros históricos, se consulta los antecedentes de eventos extremos y/o desastres, para los cuales se conoce la fecha, tipo de evento, ubicación, y daños según número de afectados, muertos, y pérdidas físicas materiales de infraestructura, equipamientos y/o viviendas. Se ubican las fechas más significativas, por magnitud de los eventos extremos a fin de poder compararlas con las gráficas del registro histórico en condición de normalidad (Salas, 2015). Luego ambos registros permiten caracterizar las amenazas, con el fin de valorizar las frecuencia y magnitud del evento, en la búsqueda de validar un parámetro tipo umbral grave o crítico.

2.3 Evaluación de la vulnerabilidad territorial

El propósito es evaluar la vulnerabilidad del sistema urbano Iquique – Alto Hospicio para fundamentar y mejorar la planificación y adaptación para el desarrollo urbano futuro de Iquique

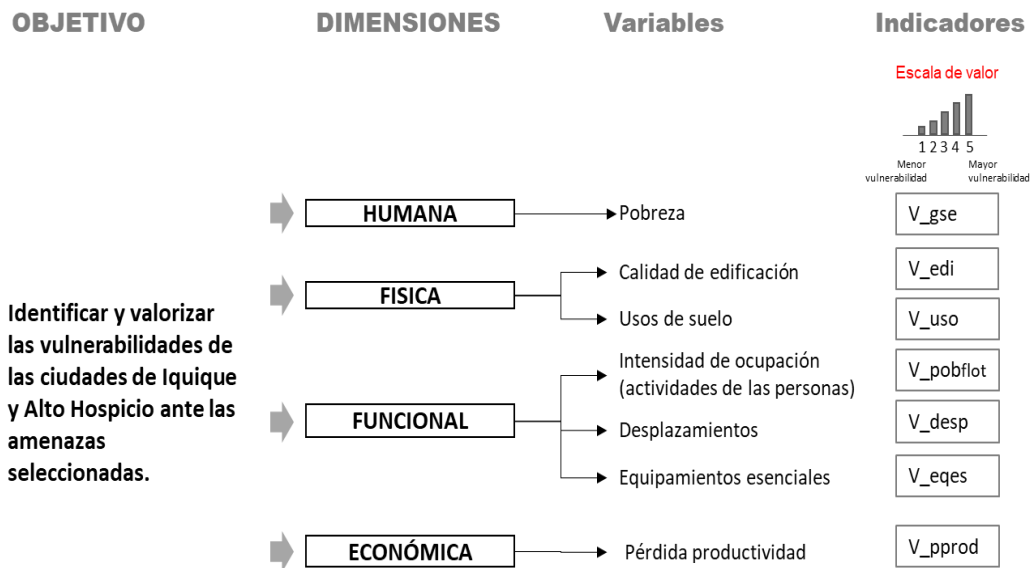
– Alto Hospicio, en la búsqueda de la sostenibilidad del desarrollo urbano en un contexto de cambio climático.

El cálculo de la vulnerabilidad se abordó mediante un “análisis multicriterio” de las variables territoriales que se desprenden de las dimensiones evaluadas en el área de estudio Iquique – Alto Hospicio, y que integran las variables expuestas precedentemente para vulnerabilidad con las susceptibilidades de amenaza, en la síntesis del mapa de riesgos para el Área Metropolitana.

De esta forma, se obtiene la expresión territorial del riesgo según susceptibilidad, para a partir de dichos resultados identificar los retos de reducción de vulnerabilidad frente a los riesgos naturales (Banco Interamericano de Desarrollo 2016).

Para las vulnerabilidades se identifican variables resultado del análisis de las causas señaladas en el punto precedente, que son representadas mediante diferentes coberturas planimétricas para cada una de las 4 dimensiones⁴: Humana, Física, Funcional, y Económica. El esquema del procesamiento por dimensiones y variables del análisis de vulnerabilidad se muestra en la siguiente ilustración

Figura 4. Dimensiones - variables e indicadores para el Análisis Multicriterio

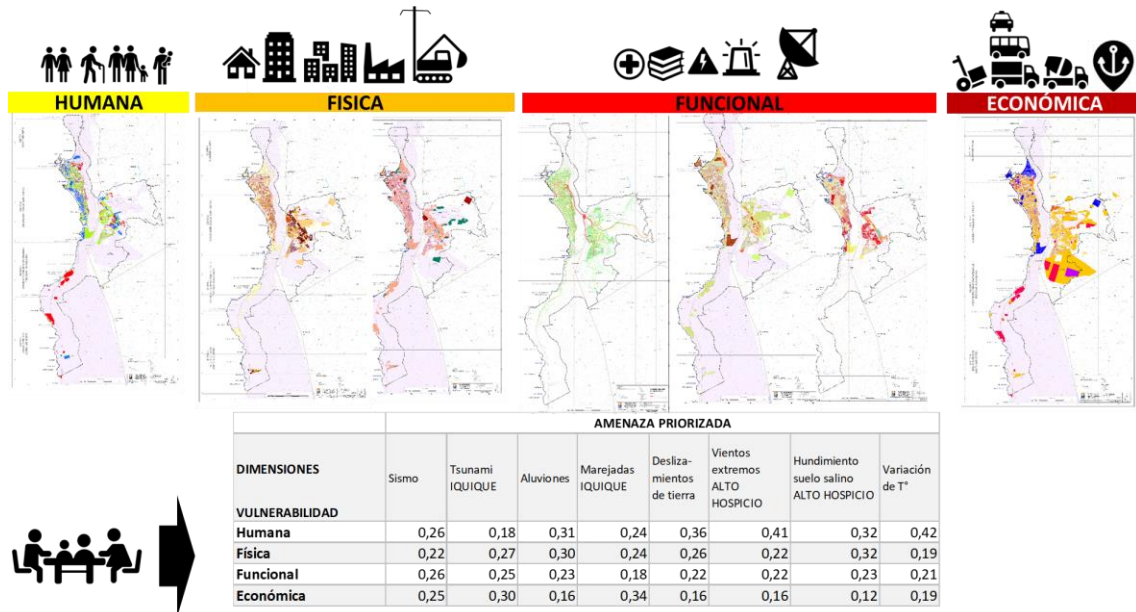


Fuente: Elaboración propia.

Las variables que se indican corresponden para efectos de la aplicación del análisis multicriterio a las coberturas por criterio, las que permiten clasificar cada manzana en una escala de valor de 1 a 5, siendo 1 de menor vulnerabilidad, y 5 como la de mayor vulnerabilidad según cada unidad de medida.

⁴ La dimensión Institucional, no se representa espacialmente por la naturaleza misma de los temas que consulta, y se integra en las estrategias y medidas de gestión que se formulan como retos de vulnerabilidad.

Figura 5. Resultados de los ponderadores de las dimensiones de la vulnerabilidad según amenazas prioritizadas



Fuente: Elaboración propia.

Con todo lo anterior se cuantifica la vulnerabilidad en términos de territorios afectados (superficie en ha), y magnitud de población y superficies por actividades. La evaluación de vulnerabilidad se desarrolla para la situación base, pero la flexibilidad del modelo de sistema urbano permite evaluar la vulnerabilidad de distintos escenarios de crecimiento de las actividades en el territorio.

Si bien se formularon escenarios de crecimiento urbano, obteniendo resultados para cada uno de ellos en términos de las implicancias para el sistema urbano (Expansión o contracción de la huella urbana, relocalización de actividades, etc), aun no han sido evaluados en términos de la vulnerabilidad que generan (producto del reordenamiento de las actividades que ocupan el territorio).

3. Resultados del análisis de vulnerabilidad en Iquique-Alto Hospicio bajo un escenario de cambio climático

A continuación, se muestran los resultados de la aplicación del modelo a la conurbación Iquique-Alto Hospicio. Se muestran resultados parciales y finales, en base al mismo orden de presentación de la metodología.

3.1 Amenazas asociadas a fenómenos meteorológicos, y la inclusión de los efectos del cambio climático: Aumento de Temperatura y Vientos extremos

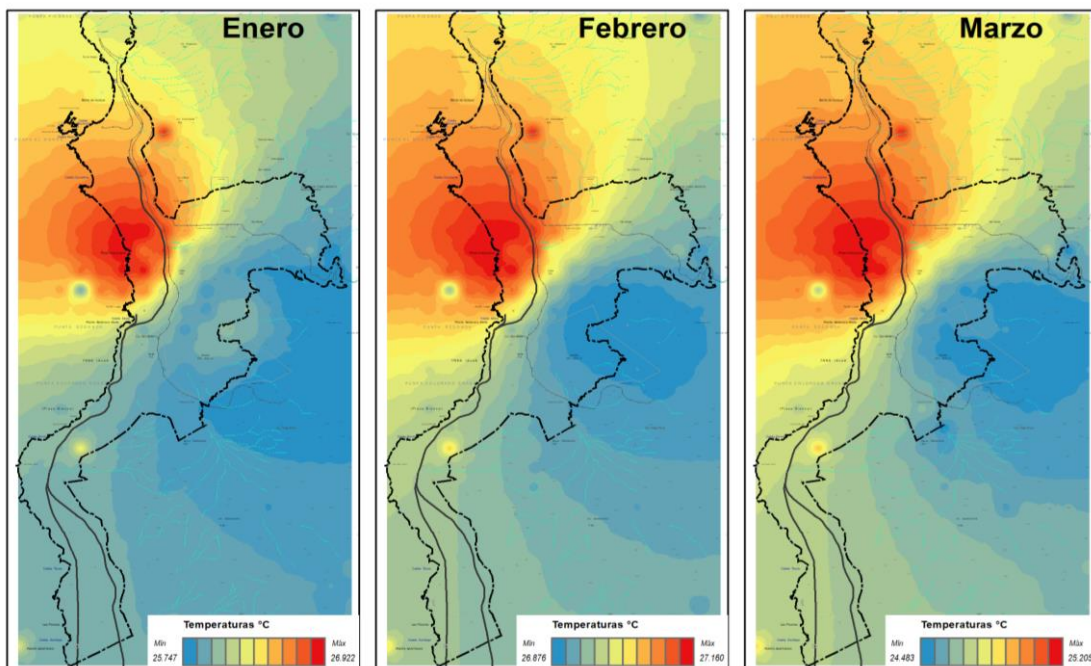
Desde un enfoque probabilístico se calculan los porcentajes que cada mes del año tiene para registrar la Temperatura del peak de menor valor, esto es igual a 29.8°C, en escenario base y escenario de contexto con cambio climático, considerando los incrementos de T° proyectados para futuro cercano e intermedio. Cabe considerar en relación con estos resultados que son

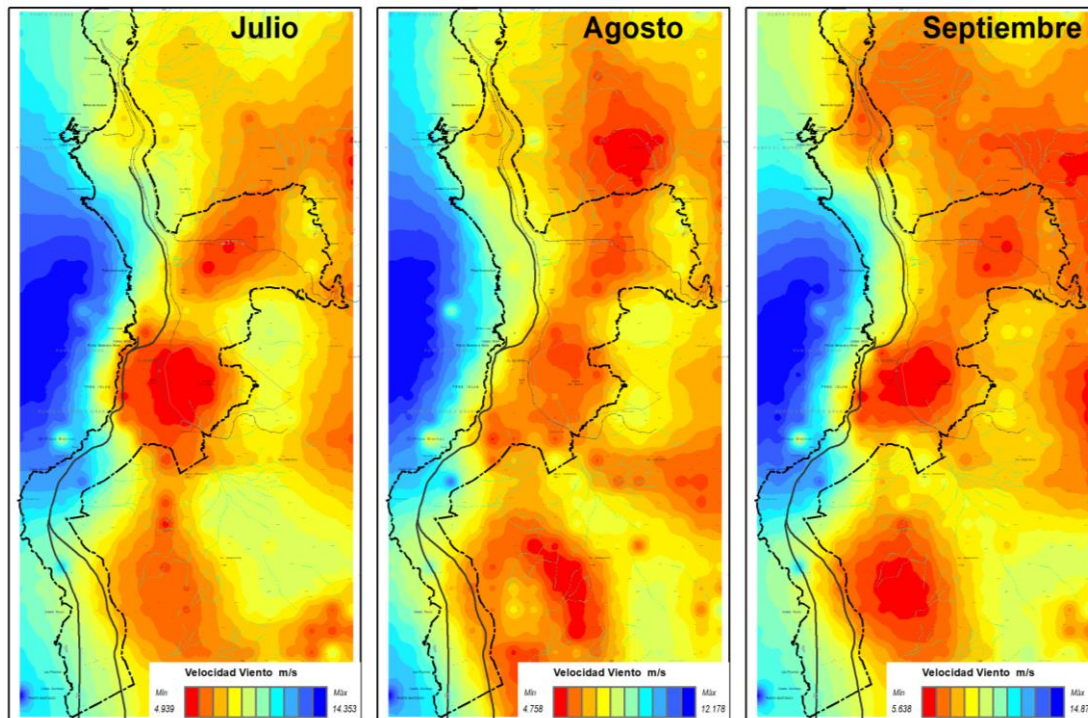
tres meses los que representan el mayor porcentaje de registrar dicho peak correspondiente al verano en los meses de enero – febrero y mayo, considerando que son meses seguidos en el año y en consecuencia agudiza la amenaza de aumento de temperatura; el mes de abril representa el periodo de mejoría de dicho escenario de máxima probabilidad de aumento de temperatura. La incorporación en el análisis del cambio climático implica que la probabilidad de alcanzar Temperaturas máxima de casi 30° en el año crece de 91.6% en Iquique y 90,3 % en Alto Hospicio, a 94.7 % y 93.3 % respectivamente en el futuro cercano y 96.3% y casi 95% en el futuro intermedio. En síntesis, se incrementa en un 5% para el escenario de futuro intermedio más extremo.

El comportamiento espacial de los datos resultantes de la modelación permite visualizar la variación de temperatura según su comportamiento mensual, el que fluctúa en una inversión térmica de máximas en diferentes periodos del año entre Iquique y Alto Hospicio, tratándose de un rango de oscilaciones entre 0.3°C en febrero hasta 1.6°C en abril. De esta forma la espacialización de los datos resultantes de la modelación permiten identificar el sector sur del área urbana de Iquique como la zona con la mayor temperatura en el mes de febrero (27.16°C), en abril dicho escenario se invierte experimentando el sector interior oriente de Alto Hospicio como el de mayor temperatura (23.83°C).

Para la variable de viento (WS), cada 1 hora para los 365 días del año, para 578 puntos que cubren el área de estudio en una configuración de grilla. De dicha data meteorológica se identifican los peak de máxima velocidades de viento mes a partir de la cual se realiza una interpolación para representar las coberturas de Viento mes durante un año. A ellos se les incrementan por variación mes en escenario de cambio climático más adverso tanto para futuro cercano (2030) como para futuro intermedio (2064). Conforme a los resultados la Velocidad máxima de viento se obtuvo para el mes de septiembre (14.871 m/s), y el menor valor de la curva de máxima temperatura en el mes de noviembre (10.297 m/s).

Figura 6. Mapa de Amenaza según variación de temperatura y Viento





Fuente: Elaboración propia (2018).

3.2 Vulnerabilidad al año 2017

A continuación, se presenta una síntesis de los resultados obtenidos en términos de vulnerabilidad.

- El mayor riesgo por vulnerabilidad sísmica lo representa la dimensión económica por potencial pérdida de productividad en el área urbana de Iquique.
- El mayor riesgo por vulnerabilidad por tsunami, lo representa al igual que el sísmico, la dimensión económica por potencial pérdida de productividad en el área urbana de Iquique. En consecuencia, para plantear los desafíos futuros en materia de retos para reducción del riesgo y vulnerabilidades, se recomienda un enfoque multiamenaza en casos de sismo-tsunami.
- El mayor riesgo por vulnerabilidad aluvional, lo representa la dimensión física y económica por mayor afectación a superficie habitacional tanto en el área urbana de Iquique como Alto Hospicio y mayor afectación a usos productivos conforme a los mayores avalúos por potenciales pérdidas en Iquique que en Alto Hospicio.
- El mayor riesgo por vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra, lo representa la dimensión económica por potencial pérdida de productividad en el área urbana de Iquique, correspondiente con la afectación a superficie de usos productivos, a lo que se suma la afectación a la integridad física de las personas de hogares pobres y superficies habitacionales tanto en Iquique como en Alto Hospicio.
- El mayor riesgo por vulnerabilidad ante hundimiento de suelo por salinidad, lo representa la afectación a la integridad física de las personas de hogares pobres y superficies habitacionales en Alto Hospicio.



- Es importante considerar que sobre el 50% de la superficie urbana no se encuentra expuesta o mayormente afectada por los niveles mayores de riesgo por vientos extremos en escenario de cambio climático.
- Es importante considerar que sobre el 60% de la superficie urbana no se encuentra expuesta o mayormente afectada por los niveles mayores de riesgo por aumento de temperaturas en mes de febrero, en escenario de cambio climático.

En síntesis, se realiza una comparación de las áreas de riesgos resultantes del cruce entre amenazas y las diferentes vulnerabilidades según dimensiones para cada una de ellas; cuyos resultados se muestran en forma diferenciada para Iquique, y para Alto Hospicio.

De esta forma, mientras para Iquique, lo más significativo es riesgo asociado a peligro de aparición lenta por aumento de T° , seguido de Tsunami y sismo como aparición rápida, en Alto Hospicio el mayor riesgo significativamente lo representa el suelo salino.

4. Conclusiones

Se incorporan las proyecciones de los efectos de cambio climático en la planificación urbana, integrándolos al análisis de riesgos, según la aplicación de un enfoque de evaluación de vulnerabilidad dinámica, con base cuantitativa para el área metropolitana Iquique – Alto Hospicio.

Los modelos utilizados, y los resultados obtenidos resultaron ser robustos y atingentes a los fenómenos que buscan representar.

La participación local fue inclusiva en definiciones específicas del modelo, aportando información de base para la aplicación de modelos, toda vez que correspondieron a mesas de trabajo con actores regionales claves, convocados por considerarlos con mayor conocimiento del sistema interurbano sujeto a estudio.

Se contribuye con un modelo de desarrollo urbano, concebido como una herramienta iterativa que oriente el proceso de toma de decisión respecto a escenarios de crecimiento urbano, en el contexto de procesos de planificación y ejercicio de competencias de gobiernos metropolitanos.

Finalmente, señalar que el modelo está en fase de evaluación de distintos escenarios de crecimiento urbano definidos para el área metropolitana, para su implementación en fase predictiva del proceso de planificación territorial.

Agradecimientos: Este trabajo es resultado de un estudio de consultoría terminado, encargado por el Gobierno Regional de Tarapacá División de Planificación y Desarrollo Regional, Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial; en el contexto de la modificación de la LOCGAR, Ley 21.074 (Art. 104 bis), en Chile.

Contribuciones de los autores: El primer autor ha aportado el modelo de huellas urbana, tipologías de ocupación, estudio de amenazas, vulnerabilidades y riesgos, implementando los talleres de participación con actores regionales, en su cargo de coordinadora del estudio que dio origen a esta publicación correspondiente al “Diagnóstico del Área Metropolitana de Iquique - Alto Hospicio” para la División de Planificación y Desarrollo Regional del Gobierno Regional



de Tarapacá. El segundo autor ha contribuido en la definición y aplicación del modelo del sistema urbano, de interacción espacial, aportando en el enfoque metodológico integrando el análisis de las actividades con el modelo de amenazas y vulnerabilidades.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). Guía Metodológica Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Tercera Edición. Octubre.

Salas, A. (2015). *El riesgo climático en ciudades latinoamericanas de menor escala: planteamiento de una herramienta de aproximación casos de estudio en Florencia (Colombia) y Copiapó (Chile)* (Tesis de Magister). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

SUBDERE, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial.

GIZ, Deutsche Gesellschaft für international Zusammenarbeit. (2014). The Vulnerability Sourcebook. Concept and guidelines for standardized. vulnerability assessments.

SECOPLAN, Secretaria de Planificación Comunal. (2015). Plan de Desarrollo Comunal Iquique 2010.