



Artículo de investigación

2027 Enero - Junio

 English version

Estrategias de mitigación y adaptación para remociones en masa en zonas áridas: Modelo teórico basado en proyectos de arquitectura urbana en Antofagasta

Mitigation and adaptation strategies for mass removals in arid zones: A theoretical model based on urban architecture projects in Antofagasta

GINO PÉREZ-LANCELOTTI Universidad Católica del Norte, Chile
gperez@ucn.clLEANDRA MARÍN-OCARANZA Universidad Católica del Norte, Chile
leandra.marin@ce.ucn.cl

RESUMEN El desierto de Atacama, especialmente en la región de Antofagasta, enfrenta crecientes riesgos de remoción en masa agravados por el cambio climático. Este artículo propone un modelo teórico que integra estrategias de mitigación y adaptación en proyectos de arquitectura urbana a escala del barrio, enfocados en zonas desérticas en pendiente. El proceso metodológico contempla una etapa de clasificación deductiva seguida de otra de análisis cualitativo inductivo. Se identifican dentro de 13 proyectos académicos de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte en la ciudad de Antofagasta dos tipologías: una orientada a la mitigación mediante piscinas aluviales y muros de contención, y otra mixta que incorpora adaptación al terreno, barreras verdes, zonas inundables, rampas y canalización subterránea. El modelo contribuye a llenar un vacío en la literatura sobre gestión de riesgos en contextos áridos, alineándose con el ODS 11 y ODS 13. Asimismo, ofrece una guía práctica para arquitectos y urbanistas, promoviendo políticas y proyectos urbanos más resilientes, sostenibles y seguros.

ABSTRACT The Atacama Desert, particularly in the Antofagasta region, faces increasing risks of mass movement exacerbated by climate change. This article proposes a theoretical model that integrates mitigation and adaptation strategies within urban architecture projects at the neighbourhood scale, focusing on sloped desert areas. The methodological process includes an initial deductive classification stage followed by an inductive qualitative analysis. Within 13 academic projects from the School of Architecture at the Universidad Católica del Norte in the city of Antofagasta, two typologies are identified: one oriented toward mitigation through flood-control basins and retaining walls, and another mixed type that incorporates terrain adaptation, green barriers, floodable areas, ramps, and underground channelling. The model helps fill a gap in the literature on risk management in arid contexts, aligning with SDG 11 and SDG 13. It also offers a practical guide for architects and urban planners, promoting more resilient, sustainable, and safe urban policies and projects.

Recibido: 29/11/2025
Revisado: 07/5/2026
Aceptado: 13/05/2026
Publicado: 08/09/2026

PALABRAS CLAVE aluviones, adaptación climática, exposición al riesgo, arquitectura resiliente, desierto de Atacama

KEYWORDS floods, climate adaptation, risk exposure, resilient architecture, Atacama desert



Cómo citar este artículo/How to cite this article: Pérez-Lancellotti, G. y Marín-Ocaranza, L. (2027). Estrategias de mitigación y adaptación para remociones en masa en zonas áridas: Modelo teórico basado en proyectos de arquitectura urbana en Antofagasta. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 16(31), e6478. <https://doi.org/10.18537/est.v016.n031.a06>

1. Introducción

El desierto de Atacama, con su extrema aridez y paisajes imponentes, plantea complejidades significativas para la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres. La ciudad de Antofagasta, ubicada en esta región del norte de Chile, ha evidenciado de manera dramática estos desafíos geológicos, especialmente tras el devastador aluvión de 1991, que reveló la alta vulnerabilidad urbana frente a eventos de remoción en masa.

En efecto, el evento de altas precipitaciones registrado esa noche del 18 de junio, activó varias quebradas formadas por la Cordillera de la Costa que generaron aluviones a lo largo de la ciudad con un lamentable saldo de 91 fallecidos, 19 desaparecidos y 70.000 personas afectadas. Lo anterior, marcó un hito en la planificación urbana, impulsando normativas especiales para las áreas de riesgo que fueron incorporadas en el Plan Regulador Comunal del año 2002. Junto a lo anterior, se decidió la construcción de infraestructuras de mitigación al riesgo para un total de 15 quebradas donde se construyeron piscinas de decantación conocidas como "vías aluvionales" para minimizar los daños por remociones en masa en futuros eventos.

Por remoción en masa se entiende el desplazamiento de materiales como roca, suelo o detritos por pendientes bajo efectos de la gravedad (Cruden y Varnes, 1996;

Hungr et al., 2014), gatillados por precipitaciones o inestabilidad del terreno. Entre estos fenómenos, los aluviones son flujos súbitos de agua y sedimentos característicos de zonas áridas (Crozier, 2010), cuya frecuencia e intensidad se verán potenciadas por el cambio climático (United Nations, 2022).

La ciudad de Antofagasta cuenta con varios instrumentos de ordenamiento territorial tanto indicativos como vinculantes. El más importante de estos es el Plan Regulador Comunal (PRC) que zonifica y norma las diversas áreas de la ciudad, junto a los Planes Seccionales (PS) que operan sobre una zona ya definida por el plan regulador detallando con mayor precisión vialidades, áreas verdes y usos de suelo mixtos.

El plan regulador comunal vigente, en su ordenanza local artículo 44 (Municipalidad de Antofagasta, 2002), declara como "zonas de riesgo de catástrofe natural" a todas las zonas graficadas en el plan y están por sobre las normas que propone el plan para áreas consolidadas o de expansión urbana (Figura 1). De igual modo, el artículo 63 declara "sistemas aluviales urbanos", que pasan a formar parte de la red vial de la ciudad que tienen por función transportar y evacuar las aguas de lluvia y lodo que puedan producirse entre las quebradas que desembocan en la ciudad y el mar.

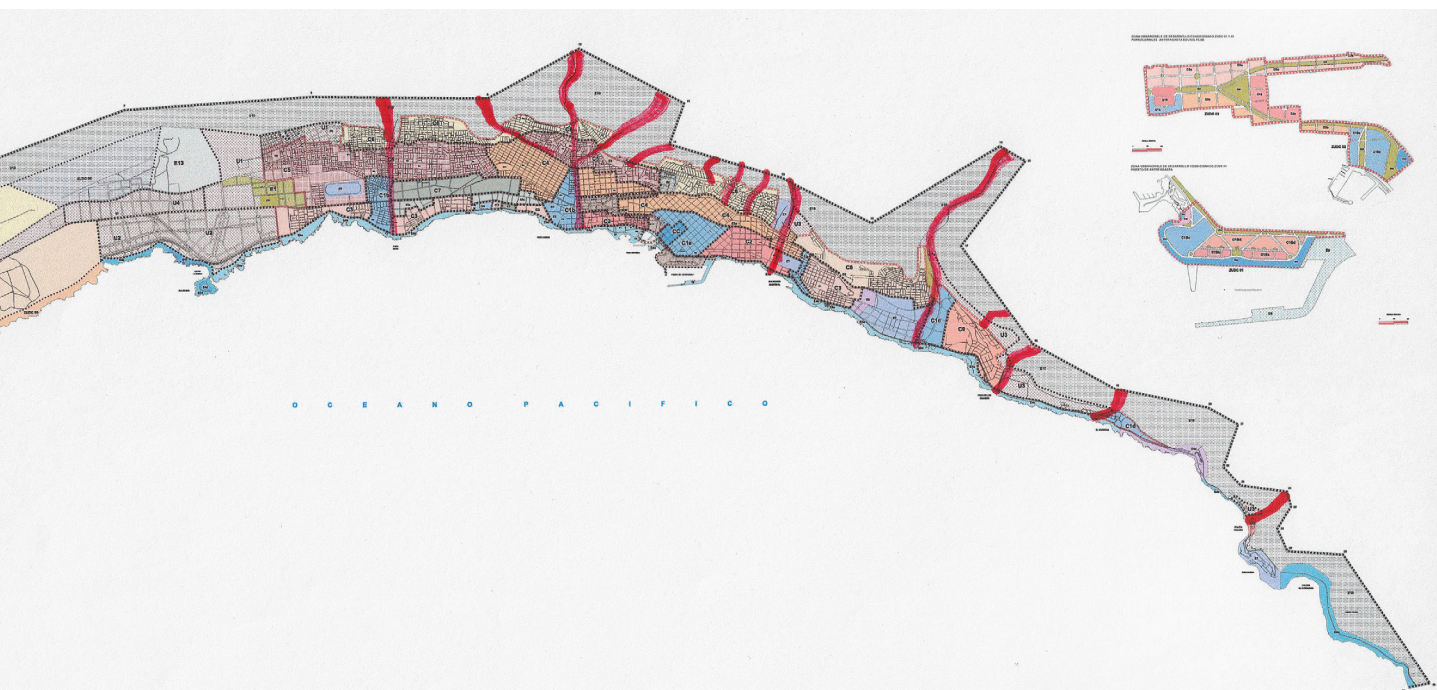


Figura 1: Plano indicando zonas de riesgo de catástrofe natural. Plan Regulador Comunal (2002), Ilustre Municipalidad de Antofagasta



Figura 2: Collage representativo de la ciudad de Antofagasta, Chile. (2025)

En el Plan se declaran 14 quebradas que forman parte del sistema aluvional, dejando fuera al sistema La Chimba, por no haber impactado en ese entonces sobre áreas urbanas consolidadas de la ciudad debido a que estas aún no existían.

Entre los años 2002 y 2016, y utilizando la figura de "actualización del plan regulador", se incorporaron las áreas de expansión urbana del sector norte de la ciudad, debido principalmente al crecimiento acelerado habitacional y de servicios, dando origen al Plan Seccional La Chimba, el cual considera parques urbanos transversales para mitigar los efectos de futuros eventos aluvionales.

Si bien la ciudad cuenta hoy con un instrumento de ordenamiento territorial y ordenanzas municipales que norman las áreas especiales relacionadas con eventos de remoción en masa, no obstante, persisten brechas en la integración de estrategias a nivel de barrio, dejando a las comunidades locales en alta exposición y vulnerabilidad. A nivel global, los riesgos de deslizamientos aumentan por la expansión urbana y el cambio climático (United Nations, 2022), y entre 1975 y 2016, los deslizamientos de tierra causaron más de 600.000 muertes (Froude y Petley, 2018; Haque et al., 2019; Lacasse et al., 2005) subrayando la necesidad de enfoques urbanos resilientes.

Las estrategias de planificación urbana combinan mitigación, intervenciones para reducir riesgos o emisiones de gases de efecto invernadero y

adaptación, ajustes al clima actual o esperado para evitar daños y aprovechar oportunidades (Ledda et al., 2024; Perez-Lancellotti y Ziede, 2021; United Nations, 2022). Aunque provienen de campos distintos, su integración permite maximizar la efectividad en la gestión del riesgo (Biesbroek et al., 2009; Klein et al., 2005).

En regiones áridas del sur global, como el desierto de Atacama, la literatura es limitada (Nagendra et al., 2018; Pauleit et al., 2021) a pesar de la alta exposición a riesgos hidrometeorológicos. Estas zonas, definidas según Köppen-Geiger como áreas donde la precipitación anual es inferior a cinco veces el umbral de sequedad (Pth) (Kottek et al., 2006; Peel et al., 2007), presentan pendientes pronunciadas, baja infiltración del suelo, vegetación escasa y asentamientos informales, condiciones que facilitan la transformación de lluvias intensas en aluviones. Estudios en Teherán, Phoenix y Ammán destacan la relevancia de la infraestructura verde y azul para mitigar estos impactos y evidencian la necesidad de más investigación empírica en zonas áridas (Jamali et al., 2021; Meerow et al., 2021; Okour y Shaweesh, 2024; Olgun et al., 2024).

Antofagasta, situada entre la Cordillera de la Costa y el Océano Pacífico, presenta una estructura urbana alargada con pendientes pronunciadas (Figura 2) y un clima árido extremo con precipitaciones promedio de 3–4 mm anuales (Garreaud y Rutllant, 1996;

Vargas et al, 2000). Estas condiciones refuerzan la necesidad de proyectos urbanos que integren mitigación y adaptación a escala local, articulando planificación y diseño arquitectónico para fortalecer la resiliencia urbana.

En este contexto, el presente estudio propone como objetivo elaborar un modelo teórico que sistematiza estrategias de mitigación y adaptación aplicables a proyectos de arquitectura urbana en zonas desérticas en pendiente, expuestas a remociones en masa intensificadas por el cambio climático, con énfasis en la escala de barrio. El diseño metodológico es de tipo mixto y el corpus del estudio está integrado por 416 proyectos académicos de titulación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte (UCN). La primera etapa es deductiva y la segunda inductiva de tipo cualitativo. Este enfoque integra conocimiento, evidencia teórica y aplicación práctica, promoviendo ciudades más resilientes, seguras y sostenibles.

En tal sentido, esta investigación plantea las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las características tipológicas de las estrategias de mitigación y adaptación que se han incorporado en los últimos 14 años en proyectos urbano-arquitectónicos desarrollados en un contexto desértico costero? ¿En qué medida los proyectos de título de la Escuela de Arquitectura UCN están incorporando la gestión del riesgo de desastre a escala del barrio?, y ¿cómo pueden sistematizarse las estrategias identificadas en los proyectos analizados para generar un modelo teórico replicable para otros contextos climáticos similares?

Hipótesis

Las tipologías de arquitectura urbana en zonas desérticas costeras de elevada pendiente poseen la capacidad de estructurar un modelo teórico replicable para el diseño de barrios resilientes frente al riesgo de remociones en masa.

2. Métodos

2.1. Diseño del estudio

Se recurre a un diseño metodológico mixto en que se agrega a una etapa inicial deductiva una etapa cualitativa inductiva para cumplir con el objetivo de elaborar una tipología de estrategias de diseño urbano arquitectónico. A partir de los trabajos de final de carrera de Arquitectura, se centra la atención en propuestas que se ubiquen en zonas de riesgo, principalmente en las laderas de los cerros de la ciudad de Antofagasta. En el pasado, dichas áreas experimentaron remociones en masa y aluviones y las predicciones señalan que dichos eventos ocurrirán con mayor frecuencia e intensidad.

2.2. Corpus y fuente de datos

El corpus del estudio es el conjunto de 416 proyectos de título aprobados entre los años 2010 y 2024 en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte (Antofagasta). Estos proyectos de titulación se encuentran disponibles en CD, digitalizados o impresos en la Biblioteca Central de la Universidad o de la Escuela de Arquitectura y respetan unos formatos estándares de presentación, principalmente una memoria y planimetrías.

2.3. Etapa 1 de clasificación deductiva

Se inicia la búsqueda entre los 416 proyectos de aquellos cuya localización sea en zonas de riesgo, para pasar a discriminarlos en ubicaciones en laderas de cerro y luego circunscritos a la ciudad de Antofagasta. Para realizar los filtros, se revisa la memoria donde las palabras clave son: zona de riesgo, zona de peligros, zona insegura, terreno vulnerable, inundación, aluvión, lluvias, remoción, desastres, zona o cambio climático. Una vez reducido el número de proyectos que contienen dichas palabras, se indaga sobre la ubicación, siendo las palabras clave: ladera de cerro, cerro, pendiente, falda, quebrada, vertiente, declive, colina, barranco.

Estos dos conjuntos de palabras clave del proceso deductivo conducen a reducir el corpus a 15 proyectos de título. Finalmente, se aplica el criterio geográfico, para que los proyectos fueran realizados en la ciudad de Antofagasta, y se obtienen trece proyectos.

2.4. Etapa 2 de análisis inductivo de tipo cualitativo

Los trece proyectos que se retienen pasan a ser estudiados de manera inductiva, sin criterios a priori para así en la libertad del análisis descubrir particularidades en las estrategias. Se efectúa una lectura abierta de los trece proyectos completando una ficha descriptiva que contiene título, emplazamiento, autor, fecha y programa. Se pasa a un análisis de mayor profundidad donde se identifica cómo se resuelve en dicha ubicación el problema de riesgos, cuáles son las respuestas de diseño arquitectónico del programa para hacer viable y sostenible el proyecto. Las fichas se fueron completando y dos investigadores fueron acumulando conocimientos al comparar las propuestas tanto en sus similitudes como divergencias para identificar patrones. Se acumulan las categorías que emergen de las fichas y comparaciones y son sometidas a revisión por parte de un tercer investigador que por su profesión y experiencia en la disciplina perfecciona el análisis y optimiza las categorías emergentes.

La secuencia de etapas permite la identificación de seis estrategias de diseño arquitectónico para zonas de riesgo en laderas de cerro de Antofagasta que no están a priori descritas en la literatura y que responden de manera única a las alternativas de adaptación y mitigación al cambio climático o una combinación. La identificación de estas estrategias representa el aporte original metodológico de la investigación.

2.5. Validación y triangulación

La robustez del proceso se consigue realizando una triangulación entre los tres investigadores, obteniendo retroalimentación en la presentación de los hallazgos en una conferencia chilena de la especialidad, y disponiendo de un registro de las fichas de los trece proyectos para asegurar su trazabilidad, transparencia y futuras revisiones.

2.6. Elaboración de las tipologías

La construcción de las tipologías se materializa en una tabla donde se cruzan las tres alternativas de respuestas al cambio climático con las seis estrategias de diseño arquitectónico que nacen de la etapa inductiva. La Tabla 1 contiene además una representación visual resumida de las principales características de la estrategia. Se acompaña la tabla de las tipologías con una descripción operativa.

Finalmente, al tratarse de proyectos de título en el ámbito académico de la Universidad Católica del Norte, no existen limitaciones éticas para su divulgación en el marco de la investigación científica y se respetan las autorías de los estudiantes.

Estrategias				
Año	Proyectos	Mitigación	Adaptación	Mitigación y Adaptación
2011	Complejo lúdico Educativo Quebrada Baquedano Antofagasta (Galleguillos Martínez 2011)			
2012	Habilitar la pendiente: La integración del espacio público en desniveles geográficos en Antofagasta Paseo-Mirador y Viviendas (Hurtado Duran, 2012)			
2012	Conjunto Habitacional y Terrazas Públicas, Antofagasta (Aparicio Fernández, 2012)			
2015	Topografía como recurso en la configuración de la arquitectura en el paisaje. Plaza Mirador y equipamiento deportivo y comunitario en Cerro la Cruz Antofagasta (Cortés Riveros, 2015)			
2018	Parque urbano agrícola y centro cultural del cultivo en el desierto en la Quebrada La Negra de la ciudad de Antofagasta (Méndez Pacheco, 2018)			
2019	Conjunto habitacional y parque universitario (Rivera Alfaro, 2019)			
2021	Arquitectura y biodiversidad, la arquitectura como soporte para la recuperación de la Reserva Nacional La Chimba Antofagasta (Salazar Berroeta, 2021)			
2021	Centro Tecnológico del Litio, Quebrada la Negra, Antofagasta (Lagos Liebig, 2021)			
2022	Rehabilitación urbana: construcción de la quebrada aluvional en la Quebrada Baquedano de la ciudad de Antofagasta (Velásquez Escudero, 2022)			
2022	Conjunto habitacional Quebrada el Toro, Antofagasta (Naveas Giovagnoli, 2022)			
2024	Tipología de micro radicación y parque urbano (Miles Osorio, 2024)			
2024	Conjunto habitacional Quebrada Baquedano, Antofagasta (Araya León, 2024)			
2024	Equipamiento educacional como respuesta contemporánea frente a catástrofes naturales, Quebradas Las Rocas y Club Hípico, Sector Chimba Alto, Antofagasta (Rojas Risso, 2024)			

Tabla 1: Proyectos, programas arquitectónicos y sus respectivas estrategias. (2025)

3. Resultados

Si bien la Escuela de arquitectura de la UCN no ha formalizado dentro de sus programas de estudio la problemática del cambio climático, al revisar todos los proyectos de título se evidencian temáticas relativas a la sostenibilidad en el territorio, estrategias de energía y confort térmico aplicadas a la arquitectura en zonas áridas en el desierto de Atacama.

Esto ha sido un elemento distintivo desde la fundación de la escuela de arquitectura el año 1981. Sin embargo, la investigación al analizar el periodo 2010-2024, de un universo de 416 proyectos de título, solo un 3% de estos abordan la problemática de la remoción en masa en Antofagasta y es recién a partir del 2021 que se observa un leve incremento de la incorporación de estrategias de mitigación, adaptación o ambas. También se observa que la cantidad de proyectos totales durante el periodo observado se distribuyen en el tiempo de manera irregular expresándose mediante una curva en forma de dientes de sierra (Figura 3).

Continuando con los resultados, se identificaron un total de 15 proyectos de título, de los cuales dos fueron excluidos por ubicarse en ciudades distintas a la ciudad de Antofagasta. El análisis de su localización en el contexto urbano evidencia que la totalidad de los casos se sitúa en proximidad a quebradas aluvionales o en laderas de cerro contiguas a estas.

En términos programáticos, las propuestas corresponden mayoritariamente a equipamientos de escala comunal, en combinación con programas habitacionales. Estas intervenciones se desarrollan tomando en consideración la normativa vigente del plan regulador, particularmente en relación con las restricciones de ocupación en zonas expuestas a riesgos de desastres. Dichas limitaciones responden, en gran medida, a las condiciones geomorfológicas de la ciudad, caracterizada por una topografía de alta pendiente derivada de su proximidad a la cordillera de la Costa, la cual supera los 1000 metros sobre el nivel del mar.

3.1. Estrategias identificadas

Se identifican seis estrategias de cambio climático para laderas de cerro en zona desértica costera expuestas a peligros de remoción en masa. De manera sintética, se recurre a seis símbolos abstractos para su representación en la Tabla 3 que se describen a continuación.

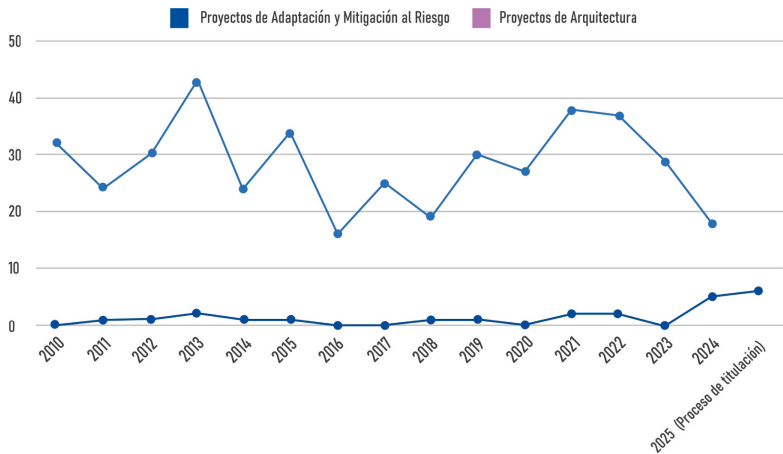


Figura 3: Distribución de cantidad de proyectos por año que incorporan adaptación y mitigación versus cantidad de proyectos solo con temas de arquitectura. (2025)

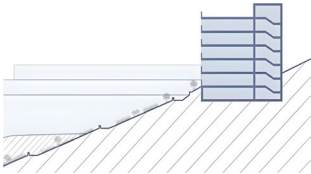
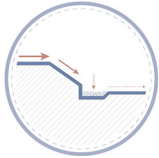
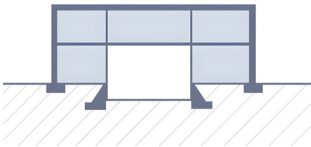
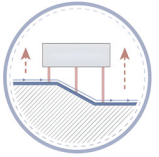
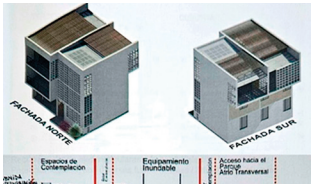
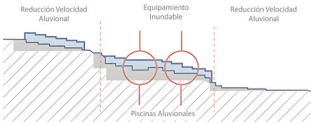
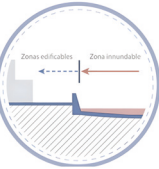
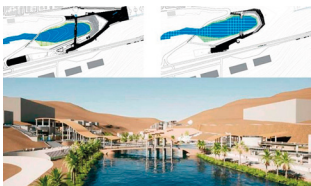
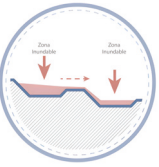
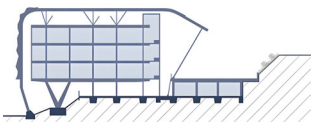
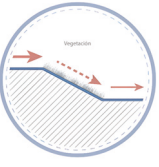
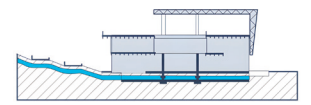
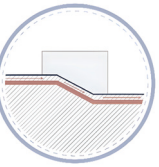
Proyectos	Programa arquitectónico	Estrategias	Abstracción de estrategias
Proyecto 1	Conjunto habitacional Quebrada Baquedano, Antofagasta.	Estrategia de proyecto	Piscinas aluviales
			
Proyecto 2	La arquitectura como soporte para la recuperación de la reserva nacional de La Chimba, Antofagasta	Estrategia de proyecto	Adaptación y elevación
			
Proyecto 3	Rehabilitación urbana: construcción de la quebrada aluvional en la Quebrada Baquedano de la ciudad de Antofagasta"	Estrategia de proyecto	Muros de contención
			
Proyecto 4	Parque Urbano Agrícola y Centro Cultural del cultivo en el desierto en la Quebrada La Negra de la ciudad de Antofagasta.	Estrategia de proyecto	Zonas Inundables
			
Proyecto 5	Centro tecnológico del litio, quebrada La Negra, Antofagasta.	Estrategia de proyecto	Barreras verdes
			
Proyecto 6	"Equipamiento Educativo como respuesta contemporánea frente a catástrofes naturales. Quebrada Las Rocas y Club hípico, Sector Chimba Alto, Antofagasta.	Estrategia de proyecto	Rampas y canalización subterránea
			

Tabla 2: Tipologías de estrategias. (2025)

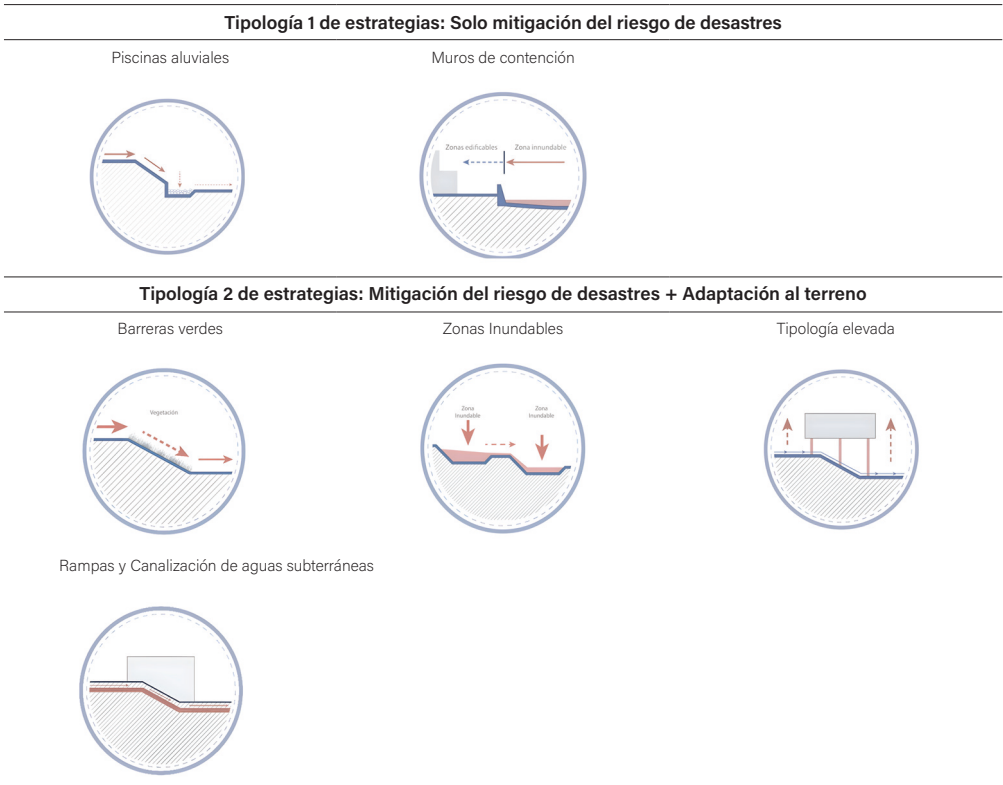


Tabla 3: Modelo teórico de dos tipologías de estrategias. (2025)

Una de estas estrategias es la “piscinas aluviales”, la cual corresponde a la propuesta de barreras de control de sólidos aluvionales con plataformas desaceleradoras que tienen por objetivo drenar y retener el flujo de agua. También se consideran bloqueadores, contenedores aluvionales, canalizadores o direccionadores con el propósito de evitar que el flujo de agua se dirija hacia las edificaciones habitacionales propuestas. Un ejemplo de esta estrategia la podemos ver en el proyecto “Conjunto habitacional, Quebrada Baquedano, Antofagasta” (Araya León, 2024) la cual tiene un impacto directo sobre la zona centro histórica de la ciudad de Antofagasta (Tabla 2, Proyecto 1).

Otra de las estrategias que podemos encontrar es la “adaptación y elevación” (tipología de planta libre). En esta estrategia hay varios proyectos que combinan la planta libre como una forma de elevarse sobre el terreno para evitar las inundaciones y proponen los programas arquitectónicos principales en los segundos niveles o superiores. Un ejemplo de esta estrategia (Tabla 2, Proyecto 2) es el proyecto: “Arquitectura y biodiversidad, la arquitectura como soporte para la recuperación de la reserva nacional La Chimba, Antofagasta” (Salazar Berroeta, 2021).

La estrategia de “muros de contención” se caracteriza por combinar muros de contención y embalses estratégicamente ubicados para reducir el caudal de agua y controlar la acumulación durante eventos de lluvias extremas, reduciendo la velocidad del flujo sedimentario producto de la remoción en masa. Es una estrategia combinada con condiciones de inundación controlada. Un ejemplo de esta estrategia (Tabla 2, Proyecto 3) la podemos encontrar en el proyecto “Rehabilitación urbana: construcción de la quebrada aluvional en la Quebrada Baquedano de la ciudad de Antofagasta” (Velásquez Escudero, 2022).

Una de las estrategias más interesantes, sobre todo en zonas áridas como lo es la ciudad de Antofagasta, son las “zonas inundables”, las cuales se logran al retener el agua que desciende por algunas quebradas de la ciudad desde la cordillera de la costa. Podemos identificar dos quebradas con estas características, una es la Quebrada La Chimba en el sector norte de la ciudad y la otra la Quebrada La Negra en el sector sur. Esta estrategia incorpora dentro del diseño arquitectónico piscinas artificiales que retienen el agua y cumplen a la vez un rol ecológico y paisajístico. También se puede reutilizar esta agua previo tratamiento para cultivos urbanos.

Un ejemplo de esta estrategia (Tabla 2, Proyecto 4) es el proyecto arquitectónico; "Parque urbano agrícola y centro cultural del cultivo en el desierto en la Quebrada La Negra de la ciudad de Antofagasta" (Méndez Pacheco, 2018).

La estrategia "barreras verdes" se caracteriza por el uso de especies vegetales seleccionadas por su capacidad de contener y desacelerar el flujo de agua proveniente de la quebrada La Negra. Estas especies actúan como barreras naturales que, junto con pequeños estanques de retención distribuidos estratégicamente, permiten reducir la velocidad del flujo de agua, filtrar sedimentos, promueven la infiltración y el almacenamiento temporal del agua y crean un microclima pudiendo albergar a algunas especies de lagartijas, pájaros y arácnidos entre otros. Esta combinación de infraestructura verde y estanques de retención contribuye a mitigar el impacto de las inundaciones, optimizando el manejo hídrico de la zona y reduciendo los riesgos para las áreas urbanas cercanas. Un ejemplo de esta estrategia (Tabla 2, Proyecto 5) es el proyecto "Centro tecnológico del litio, Quebrada La Negra, Antofagasta" (Lagos Liebig, 2021).

Por último, encontramos la estrategia que integra "rampas y canales subterráneos" diseñados para evacuar el agua de manera eficiente durante eventos de remoción en masa o lluvias torrenciales. Se trata de una solución enfocada en la gestión de desastres naturales, que busca minimizar el impacto de estos fenómenos en las áreas urbanas. Un ejemplo de esta estrategia (Tabla 2, Proyecto 6) es el proyecto "Equipamiento educacional como respuesta contemporánea frente a catástrofes naturales, Quebradas Las Rocas y Club Hípico, Sector Chimba Alto, Antofagasta" (Rojas Riso, 2024).

A su vez, las seis estrategias ya descritas pueden agruparse en dos tipologías (Tabla 3). La primera tipología está orientada a la mitigación del riesgo de desastres que reúne tanto las estrategias de piscinas aluviales como muros de contención. La segunda tipología, que además de la función mitigadora precedente suma acciones de adaptación a los efectos de remoción en masa en que se incluyen las estrategias de adaptación al terreno, barreras verdes, zonas inundables, rampas y canalización de aguas subterráneas. En algunos casos podemos encontrar estrategias mixtas de mitigación al riesgo y de adaptación.

En el modelo teórico (Tabla 3), se conceptualiza las posibilidades de implementar a través del diseño de soluciones y estrategias de mitigación al riesgo y de adaptación al cambio climático, las cuales se operacionalizan en proyectos urbanos a la escala del barrio en el contexto específico de zonas áridas en pendientes sujetas a una creciente amenaza de remoción en masa por la presencia de quebradas aluviales.

4. Discusión y Conclusiones

Los resultados dan cuenta de dos tipologías de estrategias de proyectos de arquitectura urbana a escala del barrio aplicables a zonas desérticas con pendientes que pueden experimentar, como ha sido en el pasado, nuevos eventos catastróficos de remoción en masa debido a la intensificación de los efectos del cambio climático. La primera tipología está orientada a la mitigación del riesgo de desastres donde se incluyen los hallazgos de estrategias de piscinas aluviales y muros de contención. La segunda tipología posee un doble rol, apunta tanto a la mitigación de los riesgos como a la adaptación al terreno de los efectos de remoción en masa, descubriéndose cuatro estrategias: adaptación al terreno, barreras verdes, zonas inundables, rampas y canalización de aguas subterráneas. Estos hallazgos permiten concebir el modelo teórico que se definió como objetivo de la investigación y las preguntas de investigación, coherente con la hipótesis planteada.

El modelo teórico elaborado es producto de la conceptualización inductiva y flexible de la revisión de proyectos emergentes de final de carrera de estudiantes de Arquitectura que abordan la problemática del cambio climático en zonas urbanas en pendientes de Antofagasta y a su vez deductiva de la revisión de la literatura. Al no disponer de estudios que aborden la escala del barrio en el contexto de zonas áridas habitadas, el modelo toma en cuenta los avances a la escala de ciudad que suelen adoptar los investigadores, en especial en regiones áridas, y llena el vacío del conocimiento sobre todo aplicable a una región del sur global y con características desérticas.

A diferencia de los enfoques hasta ahora planteados, esta investigación se adentra en la escala del barrio a partir del proyecto de arquitectura urbana para rescatar formas de abordaje de la operacionalización de la Agenda 2030, con especial énfasis en los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13 (ODS) que tienen relación con la calidad de vida en las ciudades y Acción por el Clima.

Con el modelo propuesto, se pueden abordar en la práctica orientaciones en los proyectos de arquitectura urbana haciendo referencia a las dos tipologías y seis estrategias aplicables a ciudades en regiones desérticas con pendiente bajo peligros de remoción en masa. Ante instrumentos de planificación territorial desactualizados como los Planes Reguladores Comunales y Planes Reguladores Intercomunales (Pérez-Lancellotti y Ziede-Bize, 2024) la planificación urbana que oriente las acciones multiescalares sobre la ciudad es ineficiente y desfasada respecto de las realidades emergentes como el crecimiento de la ciudad, exacerbación de los efectos del cambio climático, inmigración y asentamientos informales entre otros. También el modelo teórico representa una guía para la formación de los propios arquitectos que enfrentados a contextos urbanos desérticos en pendiente sujetos a remoción en masa puedan aprovechar estas estrategias prácticas e integrarlas a sus propuestas.

El hallazgo de las seis estrategias a partir del análisis de 13 proyectos de arquitectura urbana de final de carrera de la UCN pudiera percibirse como limitado, lo que podría subsanarse en el futuro a otros tipos de zonas de riesgos en zonas áridas y ciudades distintas a Antofagasta e incluso podrían explorarse casos efectivamente diseñados y construidos.

Se anticipa que el modelo podría perfeccionarse o someterse a verificación empírica en otras ciudades en Chile como Iquique, Arica, Taltal o Tocopilla que comparten con Antofagasta clima y morfología urbana de los asentamientos y exposición a riesgos de remoción en masa. Dentro de Chile, se puede ampliar la investigación a zonas desérticas que no cumplen con pendientes y que poseen cuencas hidrográficas al interior de las ciudades, como es el caso de Calama y Copiapó. Otra línea de investigación para ciudades desérticas es revisar los asentamientos expuestos a inundaciones como consecuencia del mayor nivel del mar. Por otra parte, ciudades con desiertos áridos en el mundo pueden ser parte de un análisis mayor ampliando los casos a Lima (Perú), La Paz (México), Eilat (Israel), Gwadar (Pakistán), Aqaba (Jordania), Mascate (Omán), Walvis Bay (Namibia) y Agadir (Marruecos).

Como conclusión, el artículo propuso desarrollar un modelo teórico para explicar las estrategias de mitigación a los riesgos y adaptación aplicables a proyectos urbanos en zonas desérticas con pendiente, expuestas a remociones en masa

intensificadas por los efectos del cambio climático con énfasis en la escala del barrio. El modelo teórico integra dos tipologías de estrategias: una primera tipología de solo mitigación a los riesgos de remoción en masa con estrategias de piscinas aluviales y muros de contención y una segunda tipología mixta de mitigación y adaptación con estrategias de adaptación al terreno, barreras verdes, zonas inundables, rampas y canalización de aguas subterráneas. El modelo teórico da respuesta al vacío en la literatura de cómo operacionalizar a la escala de barrio intervenciones humanas por medio del diseño de proyectos de arquitectura urbana en zonas desérticas en pendientes habitadas.

Se desprenden de la investigación ciertas limitaciones en el marco metodológico que luego de un corpus de 416 proyectos analiza en profundidad trece proyectos. También, existe una limitación en que los proyectos que se codifican son de tipo académico, por lo que se sugiere en el futuro complementar con casos de diseños construidos. La investigación podría enriquecerse con la validación del modelo aplicado a realidades de ciudades desérticas del Norte de Chile, no necesariamente con pendiente y también generar un estudio más amplio de ciudades desérticas a nivel mundial que experimentan efectos del cambio climático debido a precipitaciones.

Los aportes teóricos y prácticos promueven la resiliencia y la sostenibilidad en las áreas urbanas desérticas de alta vulnerabilidad y anticipan la necesidad de proteger vidas humanas, las inversiones de entornos habitables e infraestructura para una mejor calidad de vida.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte (Chile) por facilitar el acceso a los proyectos de título que sirvieron de base para esta investigación. Asimismo, se extiende el agradecimiento al equipo AdaptaClima Chile, y al financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Chile, que permitió la ejecución del Proyecto Fondecyt de Iniciación N.º 11230297.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

© **Derechos de autor:** Gino Pérez-Lancellotti, Leandra Marín-Ocaranza, 2027.

© **Derechos de autor de la edición:** *Estoa*, 2027.

6. Referencias bibliográficas

- Aparicio Fernández, W. (2012). *Conjunto Habitacional y Terrazas Públicas, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Araya León, M. (2024). *Conjunto habitacional, Quebrada Baquedano, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., & van der Knaap, W. G. M. (2009). The mitigation–adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat International*, 33(3), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.001>
- Cortés Riveros, I. (2015). *Topografía como recurso en la configuración de la arquitectura en el paisaje. Plaza Mirador y equipamiento deportivo y comunitario en Cerro La Cruz, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3–4), 260–267. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides investigation and mitigation. Special Report 247* (pp. 36–57). Highway Research Board, US National Academy of Sciences.
- Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(8), 2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Garreaud, R., & Rutllant, J. (1996). Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el periodo 1991–1993. *Atmósfera*, 9(4). <https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/8405>
- Galleguillos Martínez, K. (2011). *Complejo lúdico Educativo Quebrada Baquedano Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Haque, U., Da Silva, P. F., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., & Lee, J. (2019). The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014). *Science of the Total Environment*, 682, 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>
- Hurtado Duran, H. (2012). *Habilitar la pendiente: La integración del espacio público en desniveles geográficos en Antofagasta Paseo-Mirador y Viviendas* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Jamali, F. S., Khaledi, S., & Razavian, M. T. (2021). Seasonal impact of urban parks on land surface temperature (LST) in semi-arid city of Tehran. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 13(2), 248–264. <https://doi.org/10.1080/19463138.2021.1872083>
- Klein, R. J., Schipper, E. L. F., & Dessai, S. (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: Three research questions. *Environmental science & policy*, 8(6), Article 6. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.06.010>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lacasse, S., Nadim, F., & Kalsnes, B. (2005). Living with landslide risk. *World*.
- Lagos Liebig, R. A. (2021). *Centro tecnológico del litio, Quebrada La Negra, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Ledda, A., Serra, V., Ruiui, M. G. G., Bardi, A., Trogu, D., Di Cesare, E. A., & De Montis, A. (2024). Mainstreaming Climate Change Adaptation into Sectoral Plans: An Assessment Based on the Logical Framework Approach. *Sustainability*, 16(9), 3705. <https://doi.org/10.3390/su16093705>
- Meerow, S., Natarajan, M., & Krantz, D. (2021). Green infrastructure performance in arid and semi-arid urban environments. *Urban Water Journal*, 18(4), 275–285. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2021.1877741>
- Méndez Pacheco, M. A. (2018). *Parque urbano agrícola y centro cultural del cultivo en el desierto en la Quebrada La Negra de la ciudad de Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Miles Osorio, F. (2024). Tipología de micro radicación y parque urbano, Antofagasta [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Municipalidad de Antofagasta. (2002). Plan Regulador Comunal de Antofagasta. <https://www.municipalidaddeantofagasta.cl/index.php/home/municipalidad/plan-regulador>
- Nagendra, H., Bai, X., Brondizio, E. S., & Lwasa, S. (2018). The urban south and the predicament of global sustainability. *Nature sustainability*, 1(7), 341–349. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0101-5>
- Naveas Giovagnoli, E. (2022). *Conjunto habitacional quebrada el Toro Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Okour, Y., & Shaweesh, H. (2024). Identifying the barriers to green infrastructure implementation in semi-arid urban areas

- using the DPSIR framework: A case study of Amman, Jordan. *City and Environment Interactions*, 24, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100165>
- Olgun, R., Cheng, C., & Coseo, P. (2024). Nature-Based Solutions Scenario Planning for Climate Change Adaptation in Arid and Semi-Arid Regions. *Land*, 13(9), 1464. <https://doi.org/doi.org/10.3390/land13091464>
- Pauleit, S., Vásquez, A., Maruthaveeran, S., Liu, L., & Cilliers, S. S. (2021). Urban Green Infrastructure in the Global South. En C. M. Shackleton, S. S. Cilliers, E. Davoren, & M. J. Du Toit (Eds.), *Urban Ecology in the Global South* (pp. 107-143). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67650-6_5
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Perez-Lancellotti, G., & Ziede, M. (2021). The fourth generation of urban projects to tackle climate change: A typological proposal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(3), 032012. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1203/3/032012/meta>
- Pérez-Lancellotti, G., & Ziede-Bize, M. (2024). Desafíos de los instrumentos de ordenamiento territorial en la Región de Antofagasta para el ODS 11. En C. Rodríguez-Salas (Ed.), *¿Cómo hacer sostenible el desarrollo? Perspectivas territoriales de los ODS2030 en la Región de Antofagasta* (pp. 148-187). Universidad Católica del Norte. https://doi.org/10.22199/isbn.9789562874922_6
- Rivera Alfaro, M. (2019). *Conjunto habitacional y parque universitario, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Rojas Risso, T. (2024). *Equipamiento educacional como respuesta contemporánea frente a catástrofes naturales, Quebradas Las Rocas y Club Hípico, Sector Chimba Alto, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- Salazar Berroeta, H. (2021). *Arquitectura y biodiversidad, la arquitectura como soporte para la recuperación de la Reserva Nacional La Chimba, Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte.
- United Nations. (2022). *IPCC Sixth Assessment Report. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Vargas, G., Ortlieb, L., & Rutllant, J. (2000). Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. *Revista geológica de Chile*, 27(2), 157-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082000000200002>
- Velásquez Escudero, G. (2022) *Rehabilitación urbana: construcción de la quebrada aluvional en la Quebrada Baquedano de la ciudad de Antofagasta* [Proyecto de final de carrera de Arquitectura]. Universidad Católica del Norte