

Adaptación al Cambio Climático: una mirada desde la comuna de San Pedro de Atacama

Diciembre, 2022

Introducción

Desde una perspectiva general, Chile se presenta como uno de los países más vulnerables al cambio climático y sus consecuencias. Al respecto, el país cuenta con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad establecidos por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2017). Dichos criterios corresponden a diferentes zonas afectadas, las cuales son: (i) zonas costeras de baja altura, (ii) zonas áridas y semiáridas, (iii) zonas de cobertura forestal expuestas al deterioro, (iv) zonas propensas a los desastres naturales, (v) zonas expuestas a la sequía y desertificación, (vi) zonas de alta contaminación atmosférica urbana y, por último, (vii) zonas ecosistémicas frágiles donde se incluyen los sistemas montañosos.

Por su parte, el Gobierno de Chile ha realizado diversos planes y estrategias en respuesta al cambio climático. Estos proyectos están documentados en diferentes trabajos, entre los cuales aparecen el “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático”, dividido por planes sectoriales (biodiversidad, turismo, salud, silvoagropecuaria, ciudades, energía e infraestructura); el “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II)” y “La Estrategia Climática de largo Plazo de Chile”. Además, cada cuatro años se publica el instrumento de evaluación conocido como “Estado de Medio Ambiente” que considera los indicadores establecidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este documento abarca diferentes áreas temáticas para evaluar las condiciones del medio ambiente en el país, donde el cambio climático aparece entre sus ejes principales.

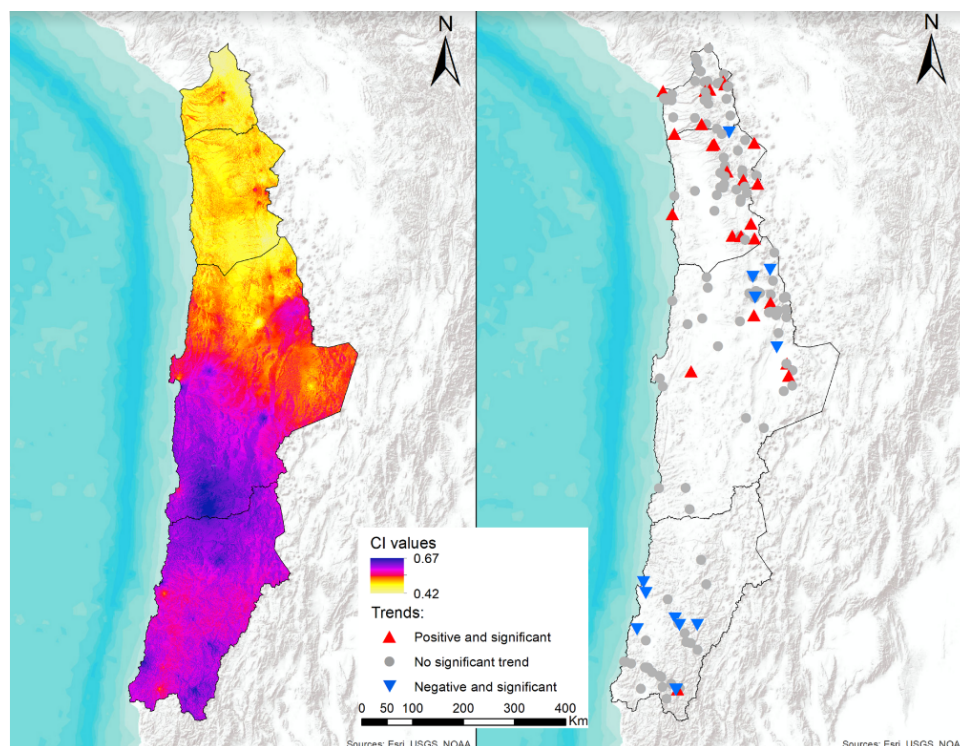
En resumidas cuentas, a lo largo de los años, los documentos oficiales han concluido en ideas similares. Estos estudios, generalmente contruidos en base a proyecciones y modelos, establecen un contexto en el que se sucede un aumento de la temperatura en todo Chile, especialmente en el Norte Grande y la zona del Altiplano, lo que traería como consecuencia precipitaciones intensas en periodos cortos acompañadas de sequías prolongadas, y con ello, la reducción significativa de los caudales medios mensuales y de las reservas de agua. Esto se traduce en el desabastecimiento de los acuíferos que sustentan gran parte de esta zona norte de Chile, perpetuándose como un problema de disponibilidad hídrica (Sarricolea, 2017).

Entre las distintas proyecciones presentes en los informes oficiales del país, destaca el “Plan De Adaptación para Ciudades 2018-2022”, el cual establece un modelo que considera el escenario más adverso posible con el fin identificar a mediano plazo los efectos del cambio climático para el periodo comprendido entre los años 2031 y 2050. En aquel modelamiento, San Pedro de Atacama, área de estudio del presente trabajo, experimentaría un aumento de temperatura máximo de 2,7 °C en época estival y 3,0 °C en la invernal, superando el promedio nacional de 2,2°C (Minsal y Minvu, 2018).

No obstante, a pesar de la clara tendencia a experimentar los recién nombrados efectos del cambio climático, se debe tener en consideración que se encuentra inserto en un escenario de total incertidumbre. Existe el esfuerzo por realizar trabajos con la finalidad de obtener respuestas de mayor

precisión¹, necesario para especificar las realidades locales como la de la comuna sampedrina. En este sentido, cabe resaltar que las investigaciones más actuales correspondientes a San Pedro de Atacama, relacionan a las proyecciones del cambio climático con el aumento de las precipitaciones (Sarricolea, Meseguer Ruiz & Romero-Aravena, 2017), tendencias que en el contexto del cambio climático estarían ligadas con la variabilidad climática, es decir, tiempos atmosféricos cambiantes: aumento de la precipitación intensa en periodos cortos como también escasez del recurso hídrico por momentos prolongados.

Figura 1.
Índice de Concentración (IC) y tendencia de precipitación
en el Norte Grande



Fuente: Baltazar & Meseguer - Ruiz 2019.

Considerando el contexto general y las características geográficas de San Pedro de Atacama y su ubicación en Norte Grande de Chile como una comuna de zonas interiores y de ecosistema montañoso, resulta evidente su posicionamiento como una de las principales zonas afectadas por el cambio climático en el mundo. De hecho, según el IPCC (2021), las comunidades emplazadas en estos tipos de zonas se caracterizan por estar dentro de los grupos más expuestos a los efectos adversos de este fenómeno climático.

Por otro lado, la escasa presencia de estaciones meteorológicas en la región minimiza la calidad de la comprensión de las variaciones del clima y obliga a tomar decisiones según modelos matemáticos predictivos que raramente se ajustan de manera cabal a los enclaves pequeños y de características geográficas tan particulares. De hecho, la mayoría de los documentos oficiales revisados sobre el cambio climático hablan sobre comunas vecinas de la misma región, como Antofagasta y Calama, por

¹ Comportamiento de la precipitación en base a variables como el viento (Urquiza, 2020), o los trabajos de Neukom et al., 2015; Minville y Garreaud, 2011, sobre la disminución del régimen de precipitaciones.

lo que acceder a datos específicos sobre San Pedro de Atacama es una tarea difícil, más aun considerando que los estudios se suelen realizar a una escala nacional.

Sin embargo, el fenómeno en la comuna de San Pedro de Atacama va más allá de considerar solamente los modelos de proyección y su incertidumbre. Desde una mirada local, las comunidades de la comuna de San Pedro de Atacama entenderían los efectos negativos ligados al cambio climático de una forma distinta a la lógica de los Planes y el Estado, reflejado principalmente en la competición por el uso de los recursos naturales y sus propias consecuencias sobre el medio ambiente. Estos factores sin lugar a dudas fortalecen los efectos ya mencionados con anterioridad.

En la comuna existiría una aparente estabilidad y equilibrio precario entre el recurso del agua y sus actividades afines, el riego y los cultivos, incluso el turismo y la actividad extractivista, lo cual tendría diferentes repercusiones en el futuro de la comuna. Disminuciones de caudales respecto a los medios anuales, principalmente en los ríos San Pedro y Vilama, la reducción notable de la superficie regada y cultivada, la desaparición de cultivos con el tiempo, la reducción de acuíferos, la repercusión en los modelos económicos, entre otras consecuencias, desajustarían las condiciones de la comuna y por tanto, su desarrollo. Sin embargo, a pesar de las políticas del Estado que pretenden innovar en este sentido, sigue siendo más importante lo que se conoce como un crecimiento sostenible protagonizado por los actores sociales (Sepúlveda, et al, 2015).

En este sentido resulta claro que la comuna de San Pedro de Atacama, y por tanto, sus cerca de once mil habitantes, no solo deben enfrentar la problemática regular en torno a eventos de sequía, disponibilidad de agua y fluctuaciones atmosféricas, sino también a la externalidades derivadas de su actividad económica, la tenencia de la tierra, abandono de zonas de cultivos, acceso a infraestructura primaria, competencia territorial por los recursos, entre otros, generados por perturbaciones derivadas más bien de las relaciones humanas que del medio natural en que se insertan.

Frente a este panorama, el cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama previene un especial desafío en términos de gestión y planificación, teniendo en consideración que, por sentido de equidad territorial, se debe garantizar el acceso universal de la población al conjunto de bienes públicos que constituyen el bienestar de la sociedad y la calidad de vida de las personas. Y, es en esta arista, que el término adaptación adquiere un papel central.

Relevar la importancia de la adaptación al cambio climático como la capacidad que la comuna tenga para responder a las distintas manifestaciones de este fenómeno es, en consecuencia, el poder hacer frente y superar² los impactos producidos por las condiciones atmosféricas, como también de aquellas derivadas de las decisiones políticas, estructuras de gobernanza y cualquier otra injerencia que afecte a sus medios de vida. De acuerdo a los distintos niveles de exposición de la comuna se define su vulnerabilidad, situando a los factores naturales del cambio climático como un ámbito relevante de la atención pública, pero no lo único.

El panorama del cambio climático es un proceso multicausal con efectos igual de variados en los territorios, según las regiones climáticas y las acciones que se tomen para enfrentarlo, esto además genera efectos inmediatos en las comunidades y su subsistencia tal como la conocemos hoy en día,

² Véase O'Brien et al., 2008; Seth et al., 2010; Valdivia et al., 2010 para otras afectaciones.

que suponen desafíos para los gobiernos y las Políticas Públicas, implicando una perspectiva tanto a corto como a largo plazo.

Bajo este precepto, resulta necesario, para este avance de investigación, dar cuenta del contexto comunal para la adaptación en San Pedro de Atacama desde una perspectiva territorial que considere: (1) caracterizar los efectos del Cambio Climático en la comuna de San Pedro de Atacama y las causas que explicarían su presencia; (ii) exponer la interrelación de las dinámicas climáticas y la estructura económica-social interna de la comuna de San Pedro de Atacama con el fin de estimar su adaptación; y (iii) proponer lineamientos de adaptación frente al cambio climático en la comuna en temática de Política Pública.

Así, en resumen, se postula que los efectos del cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama estarían orientados hacia la presión de sus sistemas humanos: eventos atmosféricos extremos, falta de información y datos ambientales, disponibilidad del recurso hídrico, cambios ambientales, y conflictos territoriales; relacionados con causas de orden político, económico y social; configurándose a su vez, en torno a un escenario comunal caracterizado por dinámicas de irregularidad atmosférica, altos grados de incertidumbre producto de una limitada capacidad de infraestructura y/o servicios, y el posible agravamiento en el tiempo de sus deficiencias actuales.

Estado del Arte

Un aspecto relevante al momento de analizar la adaptación de las poblaciones al cambio climático, recae en comprender las dinámicas que se generan en las distintas dimensiones del medio físico y, especialmente, en el comportamiento del clima. Los habitantes de algún ambiente particular se adaptan a las condiciones que son cotidianas, expresadas finalmente, a través de determinados eventos atmosféricos.

El clima, señalado por Montealegre et al., (1999) corresponde al conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo en un lugar o región determinada—incluso del planeta entero—, durante periodos relativamente largos. El equilibrio radiativo presente en la tierra y sus factores determinantes³, explican la interacción de los diferentes componentes del sistema climático que, a pesar de poseer un origen natural, adquiere una preocupación de carácter antropocéntrico si se considera que el calentamiento global ha contribuido al aumento de las temperaturas de la atmósfera terrestre, alcanzando desde el siglo XIX una sumatoria de 1,5°C y continúan incrementándose con los años (IPCC, 2021).

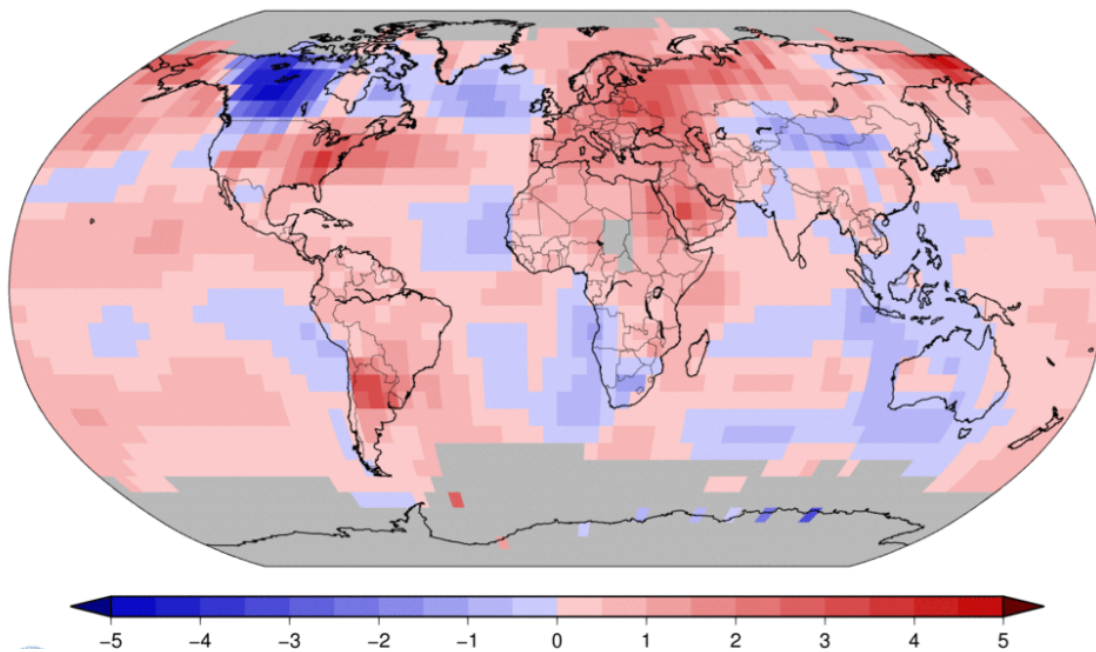
Las alteraciones del clima, explicadas a través de cambios atmosféricos completamente naturales, poseen ahora un origen atribuible a la influencia de la acción humana y por tanto, efectos impredecibles que pueden impactar en las sociedades con alta disparidad. Lo anterior, si se considera que algunas poblaciones son más propensas que otras a sufrir embates ambientales a causa de eventos atmosféricos extremos, como es el caso de la comuna de San Pedro de Atacama.

En este sentido, la ubicación geográfica determina las condiciones climáticas a los que los sistemas socioecológicos se ven expuestos, es decir, los efectos del cambio climático varían según las diversas circunstancias locales, como son la altitud, latitud, influencia oceánica, la topografía, entre otros aspectos propios del emplazamiento y la zona (Samaniego y CEPAL, 2008).

El término Cambio Climático, concepto acuñado por la Convención de Cambio Climático en el Protocolo de Kyoto—Japón y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), lo define como el "cambio en el clima atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas que altera la composición global de la atmósfera mundial, la que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables". Por tanto, el Cambio Climático es complejo, involucra numerosos aspectos interconectados del sistema climático que se entremezclan, a su vez, con complejas estructuras humanas que finalmente perciben sus múltiples impactos.

³ Latitud, vientos predominantes, corrientes marinas, distancia al mar, altitud y relieve.

Figura 2.
Desviación de la Temperatura Terrestre (°C) y Oceánica Promedio (2018)



Fuente: National Centers for Environmental Information, 2018.

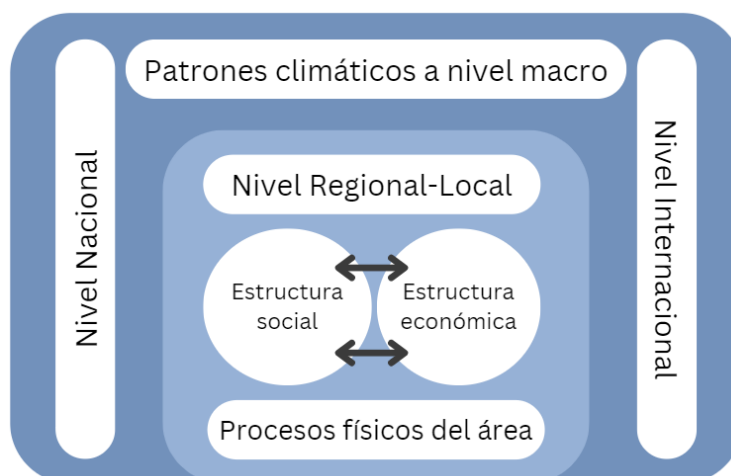
De esta forma, el cambio en el clima queda expresado particularmente por valores de temperatura y cantidad de precipitaciones extremas que fluctúan por sobre o bajo lo normal. Seguidamente, estas variaciones afectarían con mayor intensidad en poblaciones relacionadas con actividades primarias, y por ende de composición rural (Pardo et al., 2007).

De hecho, los modelos climáticos existentes, a la hora de estimar los comportamientos futuros del sistema climático, pronostican que habrá mayor frecuencia de estaciones del año con tormentas y sequías. Éstas últimas se harán aún más recurrentes en la zona andina, acompañándose de heladas, granizo e inundaciones, poniendo en peligro las actividades humanas de esta región dependiente de los actuales patrones estacionales de lluvia (Brown y Funk, 2008).

Por tanto, el cambio climático debe considerarse como un hecho social ya que sitúa a las acciones humanas como autores de sus causas y más importante aún, como quienes van a sufrir las consecuencias de éste, en forma directa o indirecta, a través de los cambios en el ecosistema que las rodea. Es un hecho social además, por razón de que su solución o tratamiento no puede hacerse a través del medio ambiente, sino sólo por las decisiones de la sociedad.

No obstante, pensar los impactos del cambio climático en un sentido puramente determinista es negar la esencia misma de la sociedad humana, su complejidad y las diferentes esferas que la componen. El análisis debe involucrar una mirada amplia, entendiéndose como socioecológica, especialmente cuando el cambio climático es impredecible. Es decir, es casi imposible atenerse a descripciones estrictamente físicas cuando los cambios pueden manifestarse en años posteriores y periodos relativamente extensos (Takahashi, 2010).

Figura 3.
Esquema de interacción de procesos del Cambio Climático



Fuente: Elaboración propia a partir de Takahashi, 2010.

El impacto del cambio climático varía alrededor del mundo, pues su nivel de incidencia dependerá tanto de procesos físicos asociados a un área específica, como a su vez a patrones climáticos macro, y estructuras sociales y económicas diversas presentes en la población. Esta poseerá una estructura social específica: una caracterización a través de su demografía, estructura social, acceso a educación, presencia de organizaciones sociales, entre otros detalles, que generarán distintas respuestas a nivel regional-local ante un evento derivado del cambio climático.

Asimismo, la estructura económica representada a través de las actividades productivas –junto a la conformación sociodemográfica antes señalada–, estará ligada al nivel de impacto sobre la base de subsistencia de la sociedad. Por supuesto, los procesos físicos, es decir, condiciones ambientales determinadas en la zona (vientos locales, niveles de humedad, orografía, etc), pueden producir consecuencias sociales negativas o positivas en las estructuras a nivel local. Los comportamientos mencionados están insertos a su vez en patrones climáticos a nivel macro, donde funcionan interacciones climáticas de circulación atmosférica, corrientes oceánicas, etc., que tienen fuerte incidencia en los fenómenos producidos a menor escala (lluvias y temperaturas, especialmente).

Teniendo lo anterior en consideración es que el análisis del cambio climático debe realizarse a través de una escala local y, en las condiciones ambientales que son perceptibles finalmente para las poblaciones. En este sentido, la variabilidad climática viene a dar respuesta a este sentido práctico, fenómeno donde las fluctuaciones observadas en periodos relativamente cortos permiten identificar la presencia del cambio climático en un área determinada.

Según Vera, et al (2006), las tendencias se condicen en la mayor parte del sur de los Andes con un calentamiento por encima de la media global y la disminución de la precipitación anual “con respuesta de gran variabilidad local en la precipitación de zonas de montaña”. Así, la alteración de los mecanismos de vida de las sociedades rurales pueden ser consecuencia de diversas inestabilidades atmosféricas, tanto a una escala global: el cambio climático, o a una escala menor, como lo es una variación local en las condiciones atmosféricas específicas de un espacio, las cuales pueden

entenderse como “variabilidades climáticas”. Por tanto, explicar la relación del cambio climático con un determinado grupo humano puede hacerse sólo a través de la variabilidad climática, ya que es a esta a la cual los individuos se enfrentan en el cotidiano (Sarricolea & Romero, 2013).

La variabilidad climática, puede definirse según Bocanegra, Edgar y Caicedo, (2000) como “la secuencia de oscilaciones de las variables climáticas (temperatura, precipitación) alrededor de los valores normales, y cuya valoración se logra mediante la determinación de anomalías”. Es decir, durante un año en particular se registran valores por encima o por debajo de lo normal, cuyo valor se representa por un promedio de una serie continua de al menos treinta años. Además, esta variabilidad puede presentarse a escala estacional, intraestacional, interanual e interdecadal (Montealegre y Pabón, 2000).

Como se ha visto entonces, las amenazas relacionadas con el cambio climático no poseen causas solamente “naturales”, y más allá de atribuirlo a cuestiones de orden atmosférico, es necesario dar énfasis a la dimensión humana que se relaciona con estos fenómenos climáticos. Es por eso que se debe poner énfasis en los procesos que provienen desde los grupos humanos, pues es desde estos que se entiende, percibe y actúa frente al tiempo atmosférico y a los fenómenos climáticos. Y es en este aspecto que el concepto de adaptación adquiere relevancia (Giro et al., 2012 en Devissier et al., 2009, Pinilla et al., 2011).

La adaptación puede definirse como el “ajuste en los sistemas ecológicos, sociales, económicos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados y sus efectos o impactos [...] refiriéndose a los cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales o para beneficiarse de las oportunidades asociadas al cambio climático” (IPCC, 2007). La adaptación incluye la capacidad de una comunidad para lidiar con la exposición gracias a la agencia humana, la distribución social de la riqueza y los recursos, el conocimiento local, el capital social y las capacidades institucionales adecuadas (Valdivia et al., 2003; Smith y Pilifosova, 2003; Adger, 2003). A su vez, esta adaptación puede ser anticipatoria, autónoma y/o planificada (Ibarrarán, 2013).

Sin embargo, la habilidad de lidiar con eventos no es equivalente a adaptarse. Muchas veces las opciones practicadas en el presente y a corto plazo pueden generar desequilibrios en las condiciones del sistema en el futuro. Adaptarse significa contar con la flexibilidad de incorporar estrategias que reduzcan el impacto del clima y al mismo tiempo, contribuir a que el sistema pueda recuperarse de la ocurrencia de un evento.

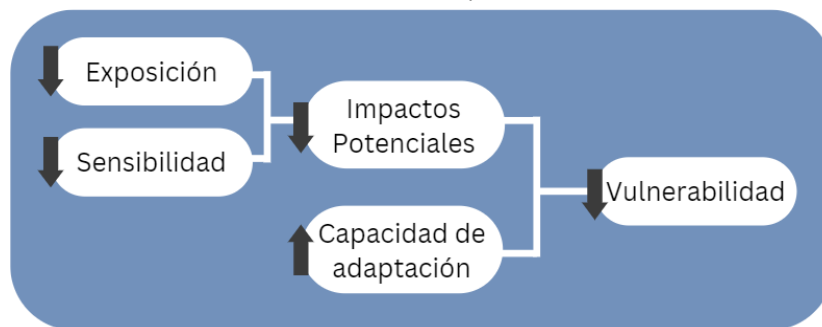
Es decir, conformarse como un grupo más resiliente, permitiendo resistir o generar adaptación de tal forma que su nivel de funcionamiento continúe siendo aceptable u óptimo, en tal grado que pueda organizarse a sí mismo e incrementar su capacidad de aprender y recomponerse de los impactos (Moreno, 2015). Cabe resaltar que para entender la adaptación de forma más profunda, es necesario definir un concepto modular que es la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad es “la medida en que un sistema es susceptible, o incapaz de afrontar efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad y los extremos climáticos” (McCarthy, et al, 2001). Una visión más amplia, resalta además los factores socioeconómicos y políticos que explican la

capacidad que posee un sistema para afrontar una amenaza externa (Dow 1992; Adger y Kelly 1999, Locatelli, et al, 2009). La vulnerabilidad de un sistema socioecológico se explica por su estado interno y no así por las características de una amenaza. Es decir, es más importante concentrarse en las condiciones económicas, sociales, políticas del sistema antes que los eventos constituyan riesgos inesperados o improbables (Brooks, 2003).

Figura 4.

Esquema de vulnerabilidad y sus componentes



Fuente: Elaboración propia a partir de McCarthy, 2001.

Desde el IPCC y resaltado por Metzger et al., (2005), se señala que los tres componentes principales de la vulnerabilidad son: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. La exposición es el ítem externo al sistema, mientras que las otras dos poseen un carácter interno. La vulnerabilidad es “una función o un reflejo tanto de la exposición y la sensibilidad del sistema a condiciones de peligro o de riesgo -que pueden ser económicas, sociales, ambientales, etc.- como de la capacidad de ese sistema para adaptarse, absorber, gestionar, tratar o recuperarse de tal exposición”. Se expresa como la interacción directa de factores ambientales y sociales desde un enfoque integrado (Lampis, 2013).

La exposición puede entenderse como: “índole y medida en las que un sistema está expuesto a variaciones climáticas considerables”, puede adjuntar elementos relativos a un ecosistema en particular, como la cantidad de precipitación caída o los periodos de sequía intensos que puedan presentar riesgos para determinada área e incluir factores globales no necesariamente naturales (Locatelli, et al, 2009).

Por su parte, la sensibilidad será la relación existente entre la exposición y los impactos, vale decir, la medida en que un sistema se ve afectado o alterado por un efecto determinado. La probabilidad de destrucción o cambio en un sistema, ya sea adversa o favorablemente, por estímulos relacionados con el clima.

Finalmente, la capacidad de adaptación podría resumirse como la capacidad de un sistema para modificar sus características o su comportamiento, determinada por factores endógenos (riqueza, redes sociales, tecnología y educación para una comunidad humana) o exógenos (conectividad del paisaje en los márgenes de un ecosistema, políticas nacionales o mercados globales), para ajustarse al cambio climático y moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades, o afrontar las consecuencias.

Bajo el punto de vista de un ecosistema social, la adaptación debe considerar entonces aquellas intervenciones que se corresponden en determinado contexto socio—institucional en el que tienen efecto. La necesidad de adoptar un enfoque integrado hace menester relacionar los diferentes sectores y medios de vida de las personas con los ecosistemas de los cuáles estos dependen (Folke et al., 2009; Girot et al., 2012).

Sin embargo, como señala Devisscher et al (2015), estas interacciones casi nunca son directas, pues están principalmente “mediadas por las diversas esferas de la actividad social, entre las que se encuentran la organización social (economía, las relaciones sociales, las normas y valores...) y la tecnología”. Dentro del análisis socioambiental, un cambio en cualquiera de estas esferas tendrá consecuencias exponenciales en todas las demás. Los efectos no se acumulan, sino que afectan al grupo humano de una manera multiplicatoria, aumentando su vulnerabilidad. Esta afirmación adquiere un carácter social cuando el estrés al que se somete el sistema genera irrupciones en los medios de vida, la pérdida de seguridad y tensiones relacionadas con la situación socioeconómica, condiciones sociopolíticas y otros factores que inciden en su capacidad de resiliencia (Adger, 2000). Este concepto se presenta a nivel comunitario y por ende, está íntimamente relacionado con el capital social que poseen las comunidades y sus distintas dimensiones.

Figura 5.
Cuadro de dimensiones implicadas en la resiliencia

RESILIENCIA	
Dimensión Espacial	• Características físicas • Comportamiento de sistemas climáticos locales
Dimensión Social	• Educación • Movilidad • Identidad y cultura • Sanidad y acceso
Dimensión Económica	• Ingresos y recursos • Acceso y control
Dimensión Política	• Instituciones • Marco Normativo • Confianza y Redes • Gobernabilidad

Fuente: Elaboración propia a partir de Adger, 2003.

La diversificación económica vinculada a la renta de actividades del sector primario se correlacionan con las distintas restricciones y condiciones de sectores de mayor fragilidad. A su vez, el acceso y el control de la tierra, dinero, préstamos o créditos bancarios determina ciertos grados de recuperación, disminuyendo la vulnerabilidad presente en sistemas geográficamente limitados y propensos a interacciones climáticas locales. Además, la resiliencia de una comunidad es sensible al contexto social e institucional a nivel político. Cuestiones como educación, calidad sanitaria y mantenimiento o

reconocimiento de la identidad se sustentan en un marco normativo que permite el funcionamiento del grupo (Pelling, 1998, Pardo, 2007; Petengell, 2010).

En sentido de las instituciones, éstas incluyen modos de comportamiento socializado, como también estructuras formales de gobierno y ley, que por supuesto, interactúan a distintas escalas, sobre las cuales descansan normas de confianza y redes. La gobernabilidad se comporta de forma transversal a las otras dimensiones permitiendo así asegurar los servicios medioambientales y la equidad, previniendo y manejando situaciones de crisis y conflictos a través de generaciones, visiblemente atribuida a la privatización de bienes comunes.

La capacidad de adaptación al clima en poblaciones rurales exige énfasis en el impacto del estrés hídrico y específicamente, sobre el mantenimiento de las actividades que sustentan en conjunto a la población. Sin embargo, las variables ambientales muchas veces ensombrecen otros tipos de problemas, que si bien poseen causas ligadas a la falta de agua, pueden encontrar soluciones alternativas a través de la robustez de recursos que posea una comunidad (entiéndase sociales, financieros, ecológicos o ambientales y políticos). Si estos aumentan, la vulnerabilidad del todo disminuye, y por tanto, la capacidad de respuesta, resiliencia y/o adaptación a impactos ambientales se incrementan a su vez (Valdivia et al., 2013; Norris et al., 2008, Delgado et al., 2015, Gutiérrez, 2013).

Es posible comprender entonces, que la adaptación de los grupos humanos está íntimamente relacionada con los recursos presentes en ellos, los cuales deben considerarse como capitales de inversión a largo plazo que contribuirán a la hora de sobrellevar alguna necesidad o, evidentemente, alguna amenaza derivada del cambio climático. Como resultado, este capital presente al interior de una población puede clasificarse en natural, cultural, humano, social, financiero, político y construido.

El capital natural corresponde a aquellos bienes que se encuentran en una localidad (incluyendo el clima), el aislamiento geográfico, la biodiversidad, los paisajes, los recursos y la calidad (Gómez-Baggethun y Groot, 2007).

Culturalmente, el recurso constituye una muestra de cómo la gente conoce el mundo y cómo interactúa dentro de él, a partir de sus tradiciones; el llamado conocimiento ancestral. En el caso de la agricultura, por ejemplo, las comunidades conocen su entorno (fases de crecimiento de las plantas y/o árboles, comportamiento del tiempo atmosférico) identificando situaciones anormales que permiten una mejor adaptación temprana, lo que debe ser considerado como un recurso en sí mismo (Bordieu, 1985, Constanza et al., 1997).

El capital humano comprende todas aquellas destrezas y capacidades que las personas poseen para desarrollar y ampliar sus recursos, permitiendo el acceso a conocimientos y bienes externos, los cuales contribuyen a incrementar la comprensión de sus problemas y a otorgar medidas viables y más óptimas. Contribuye además, a aumentar otros capitales de la comunidad, revistiéndola de mayor seguridad y estabilidad (Buttler, 2013). La educación formal e informal son ejemplos de inversiones en capital humano.

Existe también aquel capital que es social, el cual refleja los vínculos entre la gente y sus organizaciones, o el apego social para hacer que las cosas, positivas o negativas, ocurran (Coleman, 1988). “Comprende la confianza mutua, la reciprocidad, las agrupaciones, la identidad colectiva, el sentimiento de un futuro compartido y el trabajo conjunto (Putnam, 1998)”, cuya importancia radica en el papel que juega a la hora de crear un sistema saludable, consolidado y vigoroso.

Cabe resaltar que este capital puede identificarse como capital social de apego y de puente. Se basan en los lazos estrechos que constituyen la cohesión de la comunidad, y en los vínculos libres que hacen de puente entre las organizaciones y las comunidades (Daasgupta y Serageldin, 2000). En este mismo sentido existe también un capital social de carácter más específico cuando se le relaciona con el desarrollo económico de la comunidad y comprende las redes internas, externas, la movilización local de los recursos y la predisposición a considerar vías alternativas para alcanzar metas conjuntas (Butler et al., 1997).

El capital político refleja el acceso al poder, y la capacidad que poseen los propios grupos para utilizar sus normas y valores a la hora de articular la distribución y destino de recursos. Asimismo, el capital financiero corresponde bajo la misma lógica aquellas inversiones necesarias para cubrir los costos que exige la adaptación colectiva (Ostrom et al., 1993).

Finalmente, existe un capital construido, que engloba la infraestructura que sostiene a los otros capitales, donde reina una diversidad de objetos desplegados por el esfuerzo humano (Ostrom et al., 1993, Butler, 2013).

Como contrapartida, las comunidades humanas pueden enfrentarse a diferentes obstáculos a lo largo de su existencia viéndose mermada la capacidad de adaptación a perturbaciones climáticas. En este sentido, impactos biofísicos o impactos socioeconómicos pueden extremarse si no se consideran los límites y barreras intrínsecamente presentes en sus ecosistemas.

Límites y barreras son aquellos que “restringen la capacidad de las personas para identificar, evaluar y gestionar los riesgos de una manera que maximice su bienestar” (Islam, et al, 2014). Límites puede ser entendido como obstáculos inamovibles, mientras que las barreras poseen una esencia mutable.

Los límites deben ser apreciados en su relación con la sensibilidad de los ecosistemas si se considera que el cambio climático, y cualquier alteración ligada a él puede superar los umbrales del mismo condicionando la adaptación. Las características geográficas físicas y geológicas son en primera instancia las de mayor consideración en esta categoría. Por su parte las barreras a la adaptación pueden ser clasificadas en tecnológicas, económicas, sociales e institucionales.

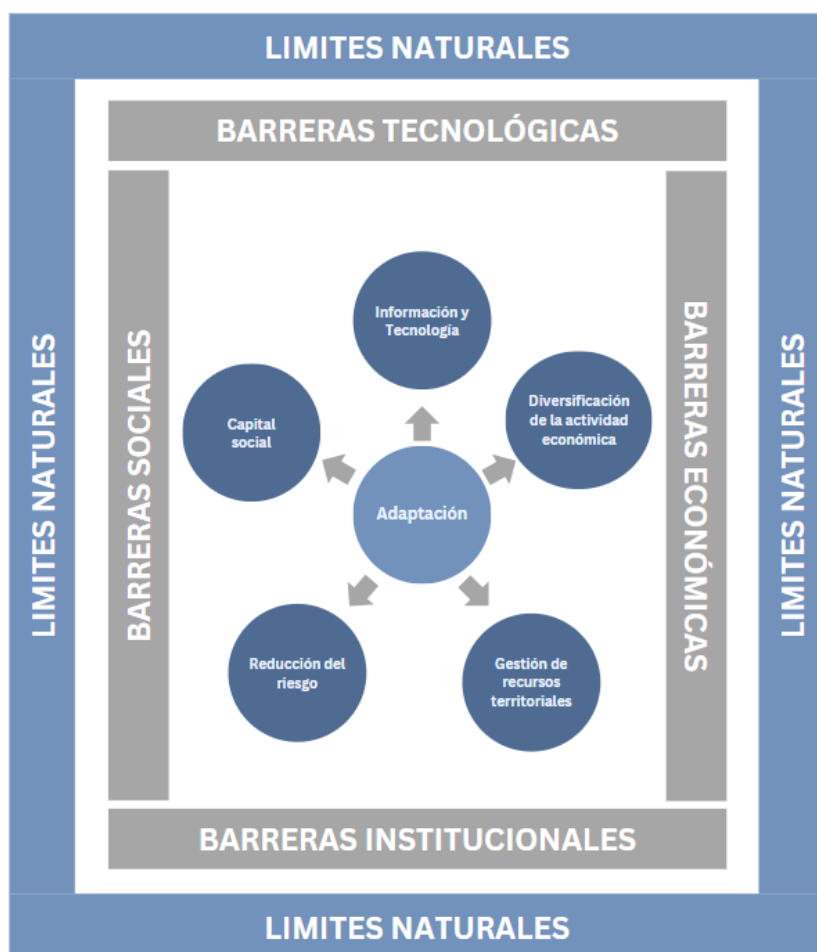
En primer lugar, las barreras tecnológicas hacen hincapié en las estructuras y el equipamiento necesario para aumentar la capacidad adaptativa, disminuir la exposición del sistema y fortalecer las oportunidades de recuperación. Las adaptaciones tecnológicas pueden verse limitadas por barreras económicas y culturales ante la falta de conocimiento o calidad de la información muchas veces inexacta (Islam et al., 2014).

En segundo lugar, existen también aquellas barreras que son económicas y que afectan a las comunidades de bajos ingresos. Además, la visión del beneficio a corto plazo por sobre el de largo plazo supone un problema a la hora de buscar reducir la vulnerabilidad.

En tercer lugar, Adger (2000) señala que la ética, el conocimiento, el riesgo y la cultura son conceptos obligados para comprender las barreras sociales a la adaptación. Procesos sociales y culturales, como las personas perciben e interpretan su entorno y los riesgos asociados a ellos se entranan en función de su visión del mundo, los valores y sus creencias. Muchas veces ante la falta de información las observaciones, a través de la experiencia, resultan el mejor recurso para que los individuos sobrelleven las alteraciones ambientales.

En cuarto lugar, las barreras institucionales conforme a sus normas regulan el acceso y los derechos a los bienes de subsistencia (activos ambientales) que permiten adaptarse a situaciones de estrés. Las instituciones formales pueden restringir o procurar estrategias para los medios de vida, alterando la vulnerabilidad positiva o negativamente. Dependiendo de los aspectos gubernamentales las oportunidades pueden favorecer o perjudicar a un grupo u otro, limitando la capacidad de las comunidades rurales para hacer frente a eventos climáticos extremos (Islam et al., 2014).

Figura 6.
Esquema Límites y Barreras a la adaptación



Fuente: Elaboración propia a partir de Islam, 2014.

Un último punto a resaltar en este estado del arte, es la consideración de dos tipos de adaptación, antes mencionadas: la adaptación autónoma y la adaptación planificada (Leary, 1999). Corresponde al primer caso la reacción que ocurre por parte de los grupos humanos cuando se presentan cambios en sus actividades, asociados con la variabilidad en los patrones de precipitación y sus consecuencias. En el segundo se consideran medidas que se proponen desde políticas preestablecidas (estrategias de respuesta) de carácter multisectorial, decididas a alterar la capacidad de adaptación del sistema o a facilitar adaptaciones específicas (Easterling, 1996).

Así, los procesos requeridos para que estos tipos de adaptación superen las barreras del sistema pueden traducirse en la correcta gestión de los recursos y en las medidas adoptadas por cada sociedad. Estas son específicas a cada lugar, cambiantes con el paso del tiempo y las diversas perturbaciones a las que está sometido (Pettengell, 2010). Es más, al considerar los recursos locales la adaptación irá más allá del simple desarrollo de la resiliencia y logrará cambios transformativos, permitiéndoles asegurar sus medios de vida en un clima inconstante (Andrade, 2010).

De esta forma, en resumen, los recursos presentes al interior de las poblaciones pueden ser clasificados en cinco recursos que favorecen altos niveles de adaptación. Información y tecnología, diversificación de la actividad económica, gestión de los recursos territoriales, reducción de riesgos y capital social, componen la combinación propuesta por Islam, et al (2014) especialmente en áreas dependientes de actividades económicas primarias.

Las decisiones combinadas hacia medios de vida sostenibles deben incluir una visión de intervención que considere a la adaptación como un continuo, buscando “analizar y afrontar lo que ya se sabe sobre los impactos del cambio climático (impactos conocidos), las áreas de incertidumbre (impactos inciertos) y los factores que limitan la capacidad de adaptación (Pettengell, 2010). Sólo el justo equilibrio y administración de los recursos territoriales permitirá una correcta adaptación, respondiendo a su vez a los criterios mencionados. Los ecosistemas bien manejados aumentarán su elasticidad, disminuirán la vulnerabilidad de la población a los eventos climáticos extremos y entregarán una gama amplia de beneficios a la comunidad que depende de ellos. Por supuesto, esta condición también requerirá de las conexiones e intermediaciones que se generen entre servicios locales, gobierno y comunidad (Andrade, 2010, Lhumeau, y Cordero, 2012).

Metodología

La utilización de una metodología mixta se hace necesaria en el análisis de las relaciones socioambientales, y es solo por este medio que la investigación puede cumplir con su objetivo. La asociación íntegra entre el método cualitativo y el cuantitativo permite una mejor exploración y explotación de los datos, adueñándose de una perspectiva más amplia y sólida que a su vez constituye la posibilidad de responder simultáneamente preguntas explicativas y confirmativas.

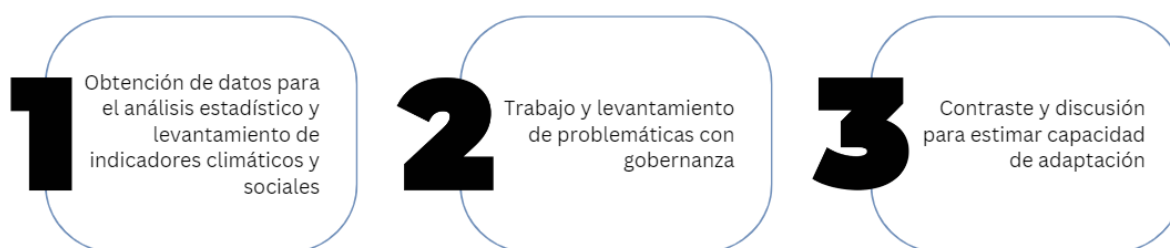
La metodología mixta permite al investigador confirmar un efecto sobre determinado fenómeno a través del análisis de estadística cuantitativa, y posteriormente, explorar las razones detrás del efecto observado utilizando investigación cualitativa (método de campo, estudios de caso, etc). Esta última con énfasis en la fenomenología, capaz de dar una comprensión explicativa de la relación/interacción entre fenómenos humanos y físicos.

De esta forma, el presente avance ha contemplado en una etapa inicial, la recopilación bibliográfica, con la cual es posible identificar las consecuencias ya presentes y estimadas del cambio climático en el Norte de Chile, y por tanto, en la comuna de San Pedro de Atacama, además de revisar las estructuras internas de esta, sus recursos y estimar así la capacidad adaptativa de la comuna ante los efectos destacados. Además de una mirada de política pública sobre cómo se prepara el área de estudio en términos de esta adaptación y lineamientos futuros.

La recopilación de información proviene principalmente de fuentes secundarias, posibilitando el análisis cuantitativo a través de datos obtenidos desde la Dirección General de Aguas (DGA) para el caso de las variables físicas, especialmente precipitación, y oscilación del sur obtenida desde el NOAA. También, del Censo de Población y Vivienda (INE), Encuesta CASEN (Ministerio de Desarrollo Social y Familia), Barómetro Regional de Antofagasta (IPP-UCN) SIT Antofagasta, para el cálculo de variables humanas. Las principales técnicas de análisis corresponden a la realización de climogramas y cartografías por medio de software especializado.

Asimismo, en una serie de talleres realizados con la comunidad, se identificaron desde los mismos actores locales del territorio efectos y causas ligados al cambio climático. Esta información fue sistematizada, trabajada en instancias participativas y agregada al discurso del presente informe.

Figura 7.
Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Resultados Y Discusión

- **Variables físicas y efectos asociados al cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama**

Como se señaló, los cambios y la variabilidad climática pueden ser definidos como uno de los elementos que explican la diferenciación espacial de los paisajes naturales y culturales alrededor del mundo. En el caso de la región de Antofagasta, estos van transformándose mientras se asciende en altura producto de características propias acotadas a ciertas porciones de territorio, que se constituyen en un estrecho margen horizontal. Desde las costas del Océano Pacífico hacia las zonas altiplánicas se producen saltos altitudinales, climáticos, vegetacionales y geomorfológicos, reforzados por la sequía extremadamente intensa a causa de la alta subtropical de los Andes y la corriente de Humboldt, generando montos muy bajos de precipitación (Abele, 1981).

En contraste a las escasas lluvias en zonas bajo los 1500 metros, estas se intensifican bruscamente entre los 2500 a 3000 m.s.n.m. con un orden de 30 milímetros anuales, alcanzando cerca de 300 mm en el altiplano. En la comuna de San Pedro de Atacama, sobre alturas de 2000 m, muy de vez en cuando se presentan precipitaciones estivales, producto de la variabilidad intraestacional. De hecho, según Niemeyer (1980), son contadas las veces en que lluvias superiores a 10 mm se registraron en estos lugares, y particularmente en los meses de verano. Es decir, de diciembre a marzo. Cabe agregar, que los climas predominantes en este lugar son de tipo Desértico Frío de lluvia estival, Semiárido de lluvia estival y de Tundra con lluvia estival; climas de “precordillera” y un tercero más frío llamado “altiplánico”, caracterizado por su extrema sequedad y alta amplitud térmica (25,9°C), y precipitaciones que bordean los 10 mm en sus zonas más secas y 120 mm anuales en las más húmedas.

Sin embargo, el mantenimiento de las cuencas bajas o pampas depende estrechamente de las precipitaciones en pisos superiores, ya que de estas se alimentan las recargas del desierto y por tanto, los principales cursos de agua —con escaso caudal—, que lo atraviesan en regímenes exorreicos. Lo anterior por supuesto, es resultado del comportamiento climático multiescalar de macro y mesoescala (Romero, et al., 2013) que permite la irrigación de las únicas fuentes de agua dulce que hacen posible la ocupación de este territorio montañoso y árido.

Las elevaciones se despliegan en la comuna en sentido E-O desde los 2400 a los 6000 m.s.n.m. aproximadamente, convirtiéndose en importantes puntos de captación meteorológicos orográficos. Estos aportes de precipitación estival ligados a fenómenos producidos en áreas del altiplano andino hacia el noreste son los responsables del abastecimiento de acuíferos río abajo (Köppen rectificado por Sarricolea et al., 2017).

Así, de las principales características del comportamiento atmosférico a macroescala pueden atribuirse a la relación existente entre el Monzón Sudamericano y su relación con la Oscilación del Sur (Fenómeno El Niño-Niña) y la Oscilación Antártica (Romero, Smith, Mendoza y Méndez et al., 2013).

Si bien la cordillera de los Andes se yergue como una frontera natural para la circulación atmosférica, la acumulación de precipitaciones en la región andina depende del contenido de humedad en las masas de aire que tienen su origen en el este y que, en época estival, son trasladadas por los cambios en la dirección del viento hasta la zona altiplánica (Garreud, 2003). En esos momentos la Alta de Bolivia (centro de alta presión) se localiza entre Bolivia y Mato Grosso del Sur, generando el aumento de la convección continental en la Amazonía, relacionada potencialmente con el avance meridional del ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical). La ZCIT, ubicada en el Océano Pacífico, actúa en la desestabilización de la atmósfera y la organización de la convección en el noroeste amazónico. Junto a la corriente Jet atraen al sur los vientos del este, cuya reversión en la dirección explicaría veranos lluviosos e inviernos secos (Moran y Morgan, 1986).

Ahora bien, del fortalecimiento o debilitamiento del Monzón Sudamericano depende la precipitación episódica del sector andino con secuencias activas e inactivas que varían a niveles interanuales, presentándose una alta variabilidad cuando los valores de lluvia son forzados a fluctuar por sobre o bajo lo normal.

Cabe destacar que la circulación del monzón está estrechamente relacionada con las diferencias de temperaturas entre tierras y mares que transportan el aire húmedo del océano hacia el interior del continente: cuando las masas de aire entran en contacto con la superficie cálida ascienden y se enfrían adiabáticamente⁴ hasta condensarse, liberando calor que intensifica la convección. Cuando la masa de aire alcanza un alto nivel atmosférico, esta diverge y desciende al enfriarse sobre las aguas del Océano Pacífico, más frías por la presencia de aguas subantárticas que alcanzan la superficie por medio de surgencias, y que son a su vez, transportadas por la corriente de Humboldt.

El Fenómeno del Niño (ENOS), representa también un importante factor para la variabilidad climática interanual, teniendo como efecto la estimulación de lluvias extremas, y sus respectivos impactos en el territorio. La irregularidad interanual de las lluvias en el Norte de Chile y por tanto, de todas las cuencas hidrográficas que se nutren de estas, están condicionadas a la ocurrencia de las dos fases ENOS: cálida (El Niño) y fría (La Niña). El periodo La Niña (enfriamiento de la TSM) genera un fortalecimiento de los vientos alisios desde el este (húmedo) hacia el Altiplano, debido a diferencias de presión y temperaturas entre latitudes tropicales y subtropicales. En presencia de El Niño (calentamiento de la TSM) los vientos del este se debilitan y permiten la aparición de flujos de aire seco desde el oeste, produciéndose veranos con marcada disminución en los valores de agua caída (Romero et al., 2013).

Este comportamiento demuestra cómo la interacción de elementos climáticos sudamericanos a nivel macroescalar tienen incidencia en un territorio local particular como lo es la comuna de San Pedro de Atacama.

A mesoescala los factores geográficos adquieren un papel fundamental, ya que éstos modifican las condiciones otorgadas por procesos macro a un nivel más específico. Características como altura, exposición, relieve, sistemas de drenajes, etc., generan condiciones topoclimáticas particulares para

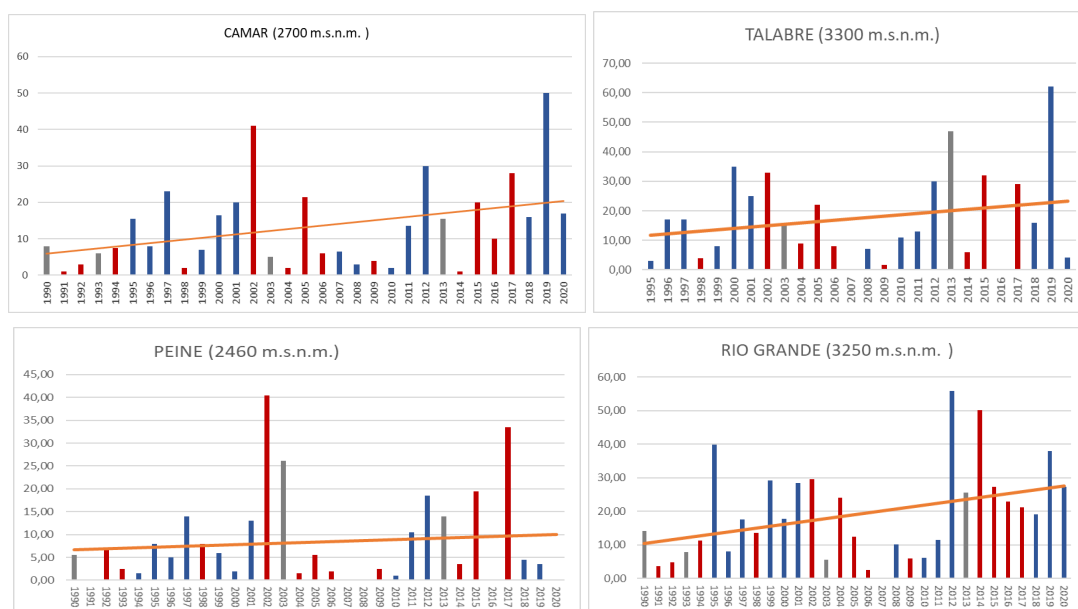
⁴ Se denomina proceso adiabático a un proceso termodinámico en el que el sistema no intercambia calor con su entorno.

diferentes cuencas, donde se hace palpable la variabilidad climática para el ser humano y en el medio ambiente que lo rodea (Pardo, 2007; Romero et. al, 2013). En la comuna de San Pedro de Atacama, y en periodos de diciembre a marzo, de manera convencional, las lluvias se concentran en el área altiplánica alrededor de una semana cada mes, seguida por un periodo seco de similar duración. A su vez, la convección generada a mesoescala produce un aumento de la humedad que permite a las corrientes locales originar precipitación.

Por otro lado, los factores topoclimáticos, especialmente las barreras orográficas tienen gran incidencia al interponerse entre el altiplano y los valles andinos, ya que reducen las lluvias bajo los 2.650 m.s.n.m, aun mientras éstas estén bajo la influencia del monzón sudamericano (las cuales influyen en el aumento de la cantidad de agua caída durante el periodo estival).

Ahora bien, para caracterizar la variación de las condiciones atmosféricas a escala local, se enfatiza en el comportamiento de las lluvias durante el periodo de 30 a 25 años comprendido de 1990 a 2021 a lo largo de las diversas estaciones meteorológicas seleccionadas y disponibles en la comuna de San Pedro de Atacama. Se demuestra así la amplia variabilidad para el sector, cuyo promedio de precipitación es de 70 mm de agua caída. Valores bajo y sobre el promedio normal (anomalías) son apreciables en determinados años, observándose una tendencia al alza en el promedio del conjunto; es decir, la comuna recibe a través de los años un débil pero notorio aumento de precipitación.

Figura 8.
Variabilidad Climática Interanual
en la comuna de San Pedro de Atacama



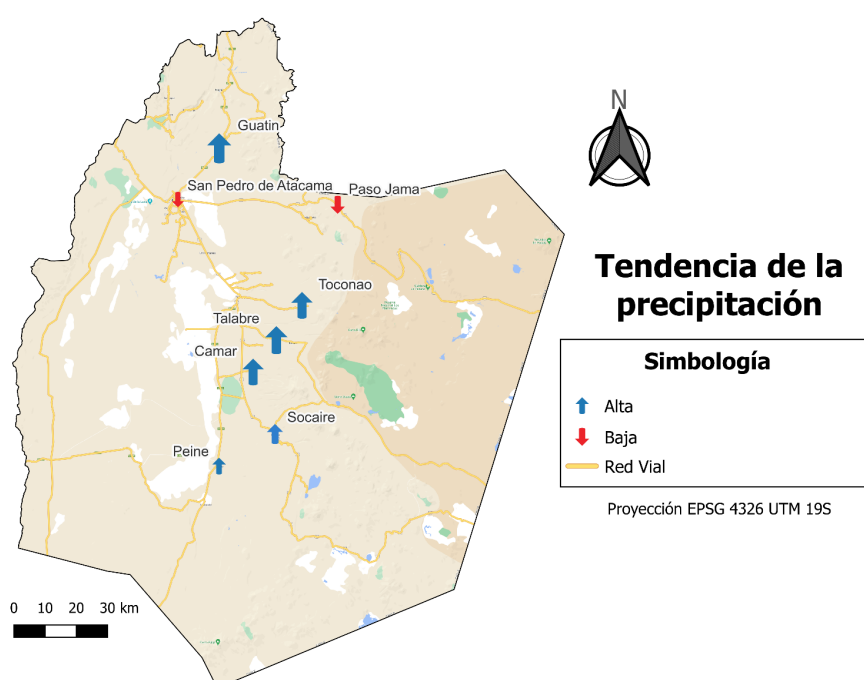
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2022.

Además, los periodos asociados a altas precipitaciones se presentan en ciclos interanuales en los que predomina la presencia del fenómeno ENOS en fase La Niña. Iniciando la serie en 1990, las precipitaciones manifiestan una paulatina alza a partir de 1995 en la mayoría del territorio, acrecentando aún más después del 2017. Por su parte, marcados momentos secos se suceden entre

2006 y 2011 asociándose la baja existencia de precipitación con el fenómeno ENOS en fase El Niño. Cabe resaltar, que con el paso del tiempo existen cada vez menos periodos neutros, cada 10 años (interdecadal), caracterizados por una cantidad de precipitación cercana al promedio.

Lo anterior es importante de destacar ya que en una dimensión humana la fase cálida del ENOS está asociada con sequías y por tanto, disminución en la producción agrícola y presiones sobre el recurso hídrico. Al contrario, la fase fría del ENOS, se asocia a la ocurrencia de desastres como deslizamientos, crecidas de río, inundaciones y erosión. De hecho, el fenómeno según el IPPC (2007) aumentaría su intensidad y frecuencia por efectos asociados a la acción del cambio climático, situación que tiende a posicionarlo como principal desencadenante de dichos eventos.

Figura 9.
Tendencias de precipitación y temperatura
en la comuna de San Pedro de Atacama (años 1995-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2022.

Estos comportamientos naturales, pero con evidente tendencia a un aumento en las cantidades extremas de precipitación, normalmente con un alto índice de concentración en pocos días, e incluso minutos, dependen en parte de la ubicación geográfica que determina las condiciones climáticas a las que los sistemas socioecológicos están expuestos. Esto quiere decir que junto a la variabilidad climática, los efectos del cambio climático también varían según diversas condiciones locales, como son, la latitud, altitud, influencia oceánica, la topografía, entre otros aspectos propios del

emplazamiento y la zona, y que pueden diferir mucho si se comparan quebradas, cuencas o localidades en sí mismas. Que exista esta tendencia, documentada y exhibida de forma empírica, no quiere decir que se resuelva el segundo problema derivado de periodos de tiempo extremadamente secos, junto al aumento sostenido de las temperaturas de aproximadamente 2°C de media mensual, como es el caso dado en la cuenca del Salar de Atacama.

De hecho, si se observa la figura 8 y 9, es apreciable que el comportamiento de las precipitaciones no es igual en todo el territorio comunal. En las zonas altas (Guatín) existe una captación mayor que en las zonas cercanas al Salar de Atacama, sin embargo, estas últimas comienzan a presentar una tendencia al alza mucho más notoria. En el caso de San Pedro de Atacama por ejemplo, y en virtud de los años de medición disponibles, es que los niveles de agua caída van decreciendo. Las modificaciones en los poblados de Peine y Socaire son explicadas por las barreras orográficas del sector oriente.

Ahora bien, estos cambios en las precipitaciones y las temperaturas, están modificando los modelos de existencia de la comuna, a la par en que crea escenarios de incertidumbre y complejiza el dinamismo natural ante el cual las sociedades suelen estar acostumbradas.

En el caso de la comuna de San Pedro de Atacama, este cambio constante en los sistemas naturales generan un contexto de escasez del agua, acentuando la competencia por su detección y aprovechamiento, a causa de una disminución de los caudales de los ríos San Pedro y Vilama asociado probablemente a una baja en las cantidades de precipitación en sus cuencas hídricas, y también a una reducción de los aportes de humedad procedentes de la Amazonía (Sepulveda, 2017).

Asimismo, el aumento de las precipitaciones constituye un efecto negativo derivado del cambio climático más que un beneficio, pues se trata de aguas superficiales que escurren por las quebradas y pueblos generando daño o perjuicio material y humano. Las altas temperaturas imposibilitan la conformación y mantenimiento de las cumbres almacenadoras de agua-hielo, lo que a su vez repercute en el abastecimiento de acuíferos y la escorrentía de la comuna. Esto también repercute en las principales actividades económicas de la zona: turismo, agricultura y minería.

De lo anterior se desprende que la comuna debe enfrentarse a un marcado aumento de la variabilidad climática y extremos climáticos, con valores climáticos disímiles a años anteriores, provocando inestabilidad en las condiciones normales y, por tanto, incremento de los escenarios de incertidumbre con consecuencias posibles de observar sólo a largo plazo.

En la comuna, y en base a la teoría, modelamientos y la sistematización levantada con actores locales, es posible identificar tres efectos con sus respectivas causas y consecuencias (Figura 10).

En primer lugar la problemática histórica de la escasez hídrica que impacta especialmente en la disminución de los caudales de los ríos San Pedro y Vilama, por tanto, genera una competencia por el aprovechamiento de este recurso, lo que se traduce en las formas de administración del agua, diferencias en la distribución habitual, conflictos de comunicación entre actores.

En segundo punto, un aumento importante en el escurrimiento superficial de las aguas, que producto de la gravedad, presencia de pendientes y quebradas y una baja permeabilidad del terreno generan

aluviones y otros fenómenos de remoción en masa. Se produce un cambio de abastecimiento ante la poca o nula participación de esta precipitación en las capas freáticas de los acuíferos, a la vez que se constituye como un perjuicio material: contaminación de aguas, cambio en los flujos habituales y composición topográfica de las cuencas; y también humano: daño a los métodos de subsistencia y económicos (arrastre de zonas de cultivo, por ejemplo), daño a infraestructuras, y pérdida de la vida humana.

En tercer lugar, el aumento de la temperatura significa presiones físicas y humanas. En el caso del primero, se presentan valores más altos de evapotranspiración, lo que aumenta también las zonas propensas a erosividad, avance de dunas y contaminación. En el caso del segundo, un aumento de la temperatura supondría insostenibilidad del modo de vida: avance de enfermedades y plagas, como también una presión en la matriz energética producto de mayores requerimientos.

Así, estas disrupciones ejercen una mayor presión en la comuna, afectando directamente a los sistemas económicos, la calidad de vida de las personas, el aumento en la demanda por un bien cada vez más escaso, conflictos territoriales y no menos importante, la planificación a futuro del desarrollo de la comuna.

Figura 10.

Principales efectos del cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

- **Variables humanas y vulnerabilidad vinculada al cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama**

Las amenazas consecuentes del cambio climático no tienen una expresión solamente natural (límites naturales muy difíciles de superar), y como ya se ha señalado, dependen en gran medida de la vulnerabilidad presente al interior de las sociedades, la cual varía a su vez en función de factores sociales, económicos, políticos, entre otros. Del estado y características particulares (exposición y sensibilidad) de la comuna de San Pedro de Atacama obedecerá la flexibilidad o resiliencia con la que se cuente a la hora de introducir o fortalecer estrategias de adaptación en el territorio.

En términos de exposición queda establecido que gran parte de los elementos externos vinculados al cambio climático en la comuna tienen que ver con comportamientos atmosféricos relacionados con eventos extremos como sequías e inundaciones. La magnitud de los impactos, será proporcional a la escala de dependencia con los recursos naturales, donde se estima que el incremento en temperatura, sequía, precipitaciones fuertes, etc.; podrían reducir la productividad hasta en un 50% en algunas regiones, especialmente en zonas secas (Le Quéré, et. al, 2007). Riesgos que se incrementan por el sector en donde se emplazan estas comunidades, siendo las áridas o semiáridas y en montañas, las ecológicamente más vulnerables.

Sin embargo, la comuna de San Pedro de Atacama reviste un rasgo fundamental que lo relaciona directamente con factores globales no necesariamente naturales: es recipiente de alta inversión privada extranjera del rubro minero y cuenta con un verdadero posicionamiento como polo estratégico del turismo internacional. La comuna es un amplio depositario de recursos naturales que aportan al desarrollo económico del país, pero a su vez, vulnerable ante embates ligados a la globalización y conflictos territoriales por el uso y gestión de los mismos.

En primer término, a lo largo de todo el territorio pueden encontrarse mineras extractivas de litio, potasio y cobre, y por consiguiente la presencia de mineras de alcance internacional. Estas actividades extractivistas se constituyen como un proceso multiescalar (Romero-Toledo, Videla y Gutierrez, 2017), pues implican la movilización de grandes volúmenes de recursos naturales, generalmente no procesados, y la especialización en la monoproducción de los territorios, incluyéndose así a la comuna de San Pedro de Atacama en el mercado global. Por tanto, cualquier cambio en las cadenas de valor internacionales puede afectar a San Pedro de Atacama y mermar sus capacidades internas, siendo uno de los principales mecanismos causales el incremento de la demanda de producción, debido a las nuevas necesidades del mercado. En este sentido, es relevante que la gobernanza del litio, cobre y otros minerales en los territorios priorice las capacidades locales para ser resilientes ante la amenaza del cambio climático (León, Muñoz y Sanchez, 2020).

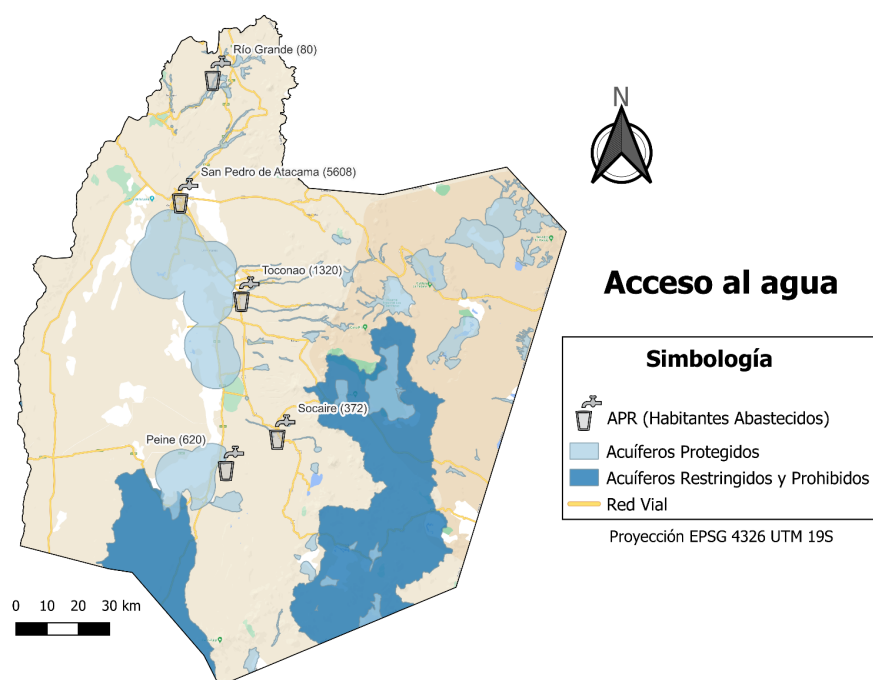
- **Barreras Sociales**

Ahora bien, un elemento a destacar entre las condiciones que afectan directamente en la sensibilidad para sobrellevar embates climáticos son los grados de pobreza y marginalidad. Éstos contribuyen en gran medida a aumentar la vulnerabilidad, sobre todo en las áreas rurales donde normalmente el

acceso a servicios básicos es menor que en la ciudad. Según datos de la encuesta Casen en Pandemia (2020), en la Región de Antofagasta, existe un 10,4% de hogares en zonas urbanas bajo el umbral nacional de pobreza por ingresos, mientras que un 13,8 % en zonas rurales. Específicamente, en la comuna de San Pedro de Atacama, existe un 14,6 % de personas bajo el umbral de pobreza (Estimación de pobreza comunal, Ministerio de Desarrollo social, 2020). Además, de la pobreza por ingresos, otras variables sociales pueden afectar a la capacidad de adaptación al cambio climático, tales como acceso a servicios básicos y déficit cuantitativo y cualitativo de la vivienda.

En este sentido, el panorama actual demanda mayor urgencia cuando se hace hincapié en las actividades antrópicas asociadas al recurso hídrico; caso de este documento: la disponibilidad de agua para el uso humano. La principal fuente de abastecimiento respecto al recurso hídrico en San Pedro de Atacama se realiza a través del sistema de Agua Potable Rural (APR) que suministra el servicio a alrededor de 7.000 habitantes, recibiendo una demanda superior en temporada estival producto del incipiente turismo de aquellos meses, mismo periodo en que las presiones sobre el recurso hídrico se hacen más presente producto de variables naturales.

Figura 11.
Distribución de agua potable en la comuna de San Pedro de Atacama



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2022.

De esta forma, un 61% (INE) de las viviendas cuentan con conexión a la Red Pública de Agua Potable en San Pedro de Atacama (CAPRA), considerando un 88% de conexión si se cuentan los diversos APR de las localidades aledañas como Socaire, Talabre y Peine; obteniéndose una brecha del 12%. Dicha falta de acceso al servicio, se considera una de las problemáticas más alarmantes para la

comunidad. A través de la información obtenida según datos de la Municipalidad de San Pedro de Atacama (2022), el consumo mensual de la comuna de 131.170 m³ indica la saturación del sistema.

Las viviendas del sector rural que nunca han contado con este bien, y que hoy se abastecen de fuentes alternativas, enfrentan además una realidad cada vez más difícil y costosa. Si bien ciertas iniciativas han sido exitosas a la hora de dar cobertura a las comunidades rurales, también presentan fallas constantemente que se atribuyen a problemas de diseño en los sistemas de Agua Potable Rural (APR). En este sentido se ha evidenciado que los problemas de continuidad del suministro de agua potable se deben mayoritariamente a fallas operativas provocadas por la falta de mantenimiento y mejoras, derivados de problemas de financiamiento y falta de planes de mediano y largo plazo. Este problema de subfinanciamiento está directamente relacionado con la escala de operación; la capacidad de los APR para financiar sus gastos recurrentes y no operacionales.

Por otra parte, el sistema eléctrico de la comuna, de concesión municipal es administrado por la Cooperativa Eléctrica de San Pedro de Atacama (CESPA) abarcando aproximadamente a 2600 usuarios domiciliarios para el año 2021 de la zona urbana de San Pedro y Toconao. Se desprende entonces que, si bien la energía eléctrica da abasto para la cantidad de hogares en la comuna, existe un 30% de brecha que no cuenta con acceso a ésta y que puede agravarse si se consideran las variables asociadas al cambio climático que demandarán mayor cantidad de energía producto del aumento de las temperaturas. Sin embargo, en el último tiempo diversos actores locales han puesto esfuerzo en transitar a través de cooperación multiactor hacia la implementación de energías renovables, y eliminando totalmente las dificultades energéticas de sectores que contaban con escasa o nula conexión.

Otra característica asociada al cambio climático, se vincula al déficit cuantitativo y cualitativo de la vivienda. En términos de acceso a la vivienda, un 12% de los hogares presenta dificultades para acceder a una, lo cual equivaldría aproximadamente a 360 hogares respecto al espacio disponible en la comuna definido por el PRC, lo cual generaría la proliferación de campamentos y una expansión urbana acelerada hacia otros sectores de la comuna que no se encontrarían regulados. En términos de inhabitabilidad, un 35% de las familias de la localidad de San Pedro de Atacama urbano presenta un déficit habitacional producto del deterioro estructural de las viviendas existentes, exponiéndose 298 viviendas precarizadas y 261 con allegamiento (CChC, 2020).

Por otra parte, según grado de hacinamiento registrado, generalmente se clasifica en tres rangos: sin hacinamiento considerando hasta 2,49 personas por dormitorio exclusivo, hacinamiento medio entre 2,5 y 4,9 personas, y, hacinamiento crítico superior a 5 personas. A partir de esta clasificación, San Pedro de Atacama presentaría niveles de hacinamiento superiores a los de la región, con una brecha cercana al 5% entre la realidad comunal y la realidad regional.

Este punto reviste especial relevancia pues destaca como capital construido básico para la protección y niveles de resiliencia en las personas. El concepto de refugio aporta estabilidad a los grupos sociales y de su estado dependerá la capacidad de adaptarse y recuperarse ante embates del cambio climático.

Un último ítem en este apartado es el referente al capital humano. En términos de educación, si bien se condiciona respecto del comportamiento de la natalidad y procesos externos como olas migratorias, se define que en rango educacional correspondiente a educación parvularia, la brecha se estima entre un 45% y 50% para el año 2021, en falta de matrículas disponibles. En cuanto a educación básica la brecha se acorta, abarcando un 17% que se traduce en 229 faltas de vacantes de matrículas, mientras que en el nivel de enseñanza media, la brecha disminuye a un 14% contabilizando alrededor de 75 cupos. El punto clave de esta variable es la internalización de conocimientos y herramientas con pertinencia ambiental, es decir, cómo se entrega a los habitantes de la comuna, desde temprana edad, las habilidades y aptitudes necesarias para la adaptación, como a la vez, se cimientan las bases para la construcción de capital avanzado que derive, a futuro, en la provisión de innovación e investigación.

- **Barreras económicas**

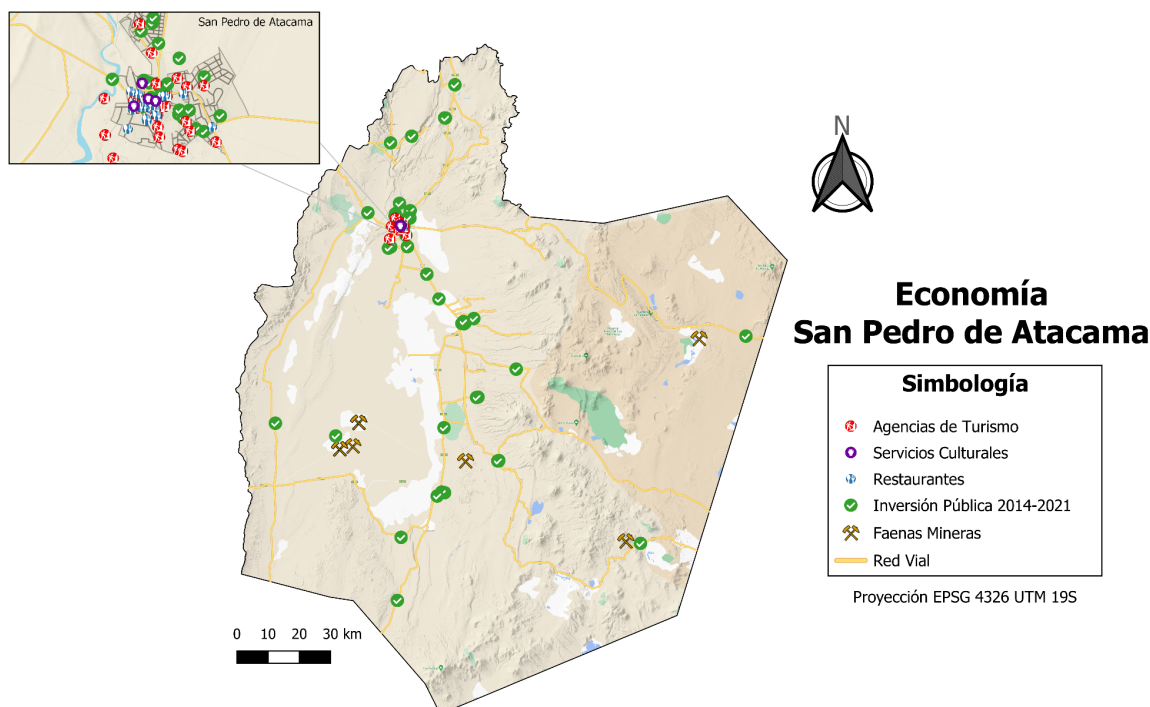
La comuna está sujeta al turismo casi en su totalidad, con una actividad de tipo monoeconómica, propensa a amenazas externas debido a la falta de diversificación. Como se detalló con anterioridad, está inserta en dinámicas de mercados globales y presenta actividades con alta dependencia de recursos naturales: agricultura y minería.

La comuna en general ha desarrollado un aumento progresivo del turismo, esto la ha convertido en un verdadero polo estratégico, posicionándose como sitio de visita de primer nivel, tanto nacional como internacional. En ese sentido, el turismo se ha convertido en la principal actividad económica de la comuna, trayendo consigo diferentes consecuencias: la población en edad laboral aumenta a la vez que las empresas se articulan de forma directa o indirecta con esta actividad. De hecho, el empleo ligado a las actividades del sector terciario corresponde a un 80%, seguido del primario (16%) y secundario (4%) (Censo, 2017).

Referente a esto último, y más en detalle, en la comuna de San Pedro de Atacama el 78% de las personas declararon trabajar (Censo, 2017). A partir del año 2017 es posible señalar que la comuna de San Pedro de Atacama sigue regida por actividades vinculadas a “Servicios de Alojamiento y Comida”, ligadas principalmente a los sub rubros Hoteleros y Turísticos donde tienen mayores oportunidades laborales. Además, estas actividades terciarias tienen predominio en zonas urbanas, a la vez que se produce el rezago de la agricultura y la concentración extractiva en el área del Salar (SIT, 2022).

Este tipo de actividad tiene graves repercusiones en la forma en que las personas se relacionan con lo económico y a la vez, como se fortalecen las actividades de subsistencia a futuro. El empleo en la comuna ha transitado hacia puestos ligados con las actividades turísticas y el sector construcción o industria (especialmente en las mujeres), con un abandono marcado de tareas relacionadas, por ejemplo, con la agricultura (SII, 2021). El principal desafío de esto radica en una mirada que otorga beneficios cortoplacistas: muchas veces se abandona el foco en economías de pequeña escala pero con alta repercusión humana como son los modos de vida y la seguridad agroalimentaria. A su vez, el quehacer turístico tiene sin dudas consecuencias en el entorno, marcado por la contaminación, como son las zonas de ríos y canales, los cuales constituyen sistemas sumamente frágiles.

Figura 12.
Distribución de actividades económicas en la comuna de San Pedro de Atacama



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2022.

● Barreras tecnológicas

La falta de equipos, herramientas y técnicas limita la adaptación en la comuna de San Pedro de Atacama, la falta de información y el conocimiento insuficiente sobre los impactos del cambio climático pueden continuar obstaculizando la adaptación si no se invierte en la sistematización de datos, principalmente ambientales, que ayuden a la toma de decisiones basado en valores empíricos y no sólo en modelaciones, a pesar de que estos estimados faciliten la tarea en virtud de emergencia. Sin embargo, existen especificidades territoriales que requieren de mayor exactitud.

En general, la realidad de la comuna supone la necesidad de tecnologías aplicadas al monitoreo y la fiscalización de las variables ambientales. En la comuna no existen estaciones de monitoreo referente a la Calidad del Aire, la más cercana presenta un promedio de 39,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (Chiu-Chiu), lo que significa estar dentro de las normas de emisión en la Ley de Calidad Ambiental del Aire (SEA, 2022). Además, según datos del Boletín N°255 del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se señala que, en el año 2011, ya existían aguas residuales en los caudales del río San Pedro y Vilama, como también altos niveles de arsénico y boro. Sin embargo, estudios de este tipo aún no han sido actualizados en la comuna, exigiendo además una bajada territorial.

Por otro lado, el grado de conectividad de la comuna influye directamente en la capacidad que se tenga para sobrellevar emergencias y que se distribuya de manera equitativa en el territorio. En San Pedro de Atacama se evidencia una baja dependencia de cableado, predominando el acceso inalámbrico, con 36 antenas que proveen de cobertura a través de frecuencias de 1900 MHz y 850 Mhz dependiendo de la compañía móvil (Subtel, 2020), es decir, cobertura 3G y 4G en puntos cercanos a las localidades pobladas. Las compañías Movistar y Entel son las que poseen la mayor amplitud de red, aunque concentradas en el área urbana, redes de camino y por sobre todo la zona centro-norte de la comuna. Así, para garantizar una correcta adaptación al cambio climático, se debe atender a promover una conexión estable, considerada actualmente como crítica debido a la proporción de superficie que cubre la señal de internet, y a la vez, la inestabilidad que puede mostrar ante condiciones meteorológicas adversas (NPERF, 2019).

- **Barreras Institucionales**

Los procesos y reglas que gobiernan y regulan el acceso y el derecho a los medios de subsistencia y la forma en que se accede a ciertos activos desempeñan un papel fundamental en la vulnerabilidad en la comuna de San Pedro de Atacama. Así, en este contexto es necesario resaltar dos barreras institucionales.

En primer lugar, la dificultad en la comercialización vinculadas a ciertas actividades como la agricultura o la artesanía, instancias que son reguladas por normativas emitidas a nivel central, integrando obligaciones con perspectiva poco adaptable a las realidades ecológicas del norte de Chile. La falta de acceso, por ejemplo, a resoluciones sanitarias aísla la participación de ciertos comerciantes de adaptarse al relacionarse con altos niveles de fragilidad en sus presupuestos familiares.

Asimismo, la administración de los recursos contenidos al interior de la comunidad y el poder con el que cuentan los diversos actores sociales poseen igual importancia. Apoyándose en investigaciones anteriores y entrevistas con las comunidades de San Pedro de Atacama, se presenta un contexto de crisis socioambiental, que al mismo tiempo resulta ser multicausal, caracterizada primordialmente por el desabastecimiento hídrico que se ha ido comentando en párrafos anteriores. En las conversaciones se destacan diversos temas que los pobladores consideraban prioritarios, entre los cuales resaltaba la administración y distribución del recurso hídrico, la falta de fiscalización, la contaminación producto de las actividades antrópicas y de minera, la pérdida del suelo fértil, la dificultad del diálogo con el Estado por la política centralizada, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, y en segundo lugar, las presiones no climáticas que afectan al bienestar social de la población comunal, también afectan a la adaptación de la comuna de San Pedro ante efectos del cambio climático. En este orden, la construcción de viviendas informales que ocupan áreas de riesgos de remociones en masa, además de las condiciones de precariedad habitacional, afectan la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, arriesgando la vida de los habitantes. A su vez, la construcción de viviendas informales en áreas al margen de la normativa establecidas por los instrumentos de planificación territorial, como respuesta a la creciente demanda por suelo, puede

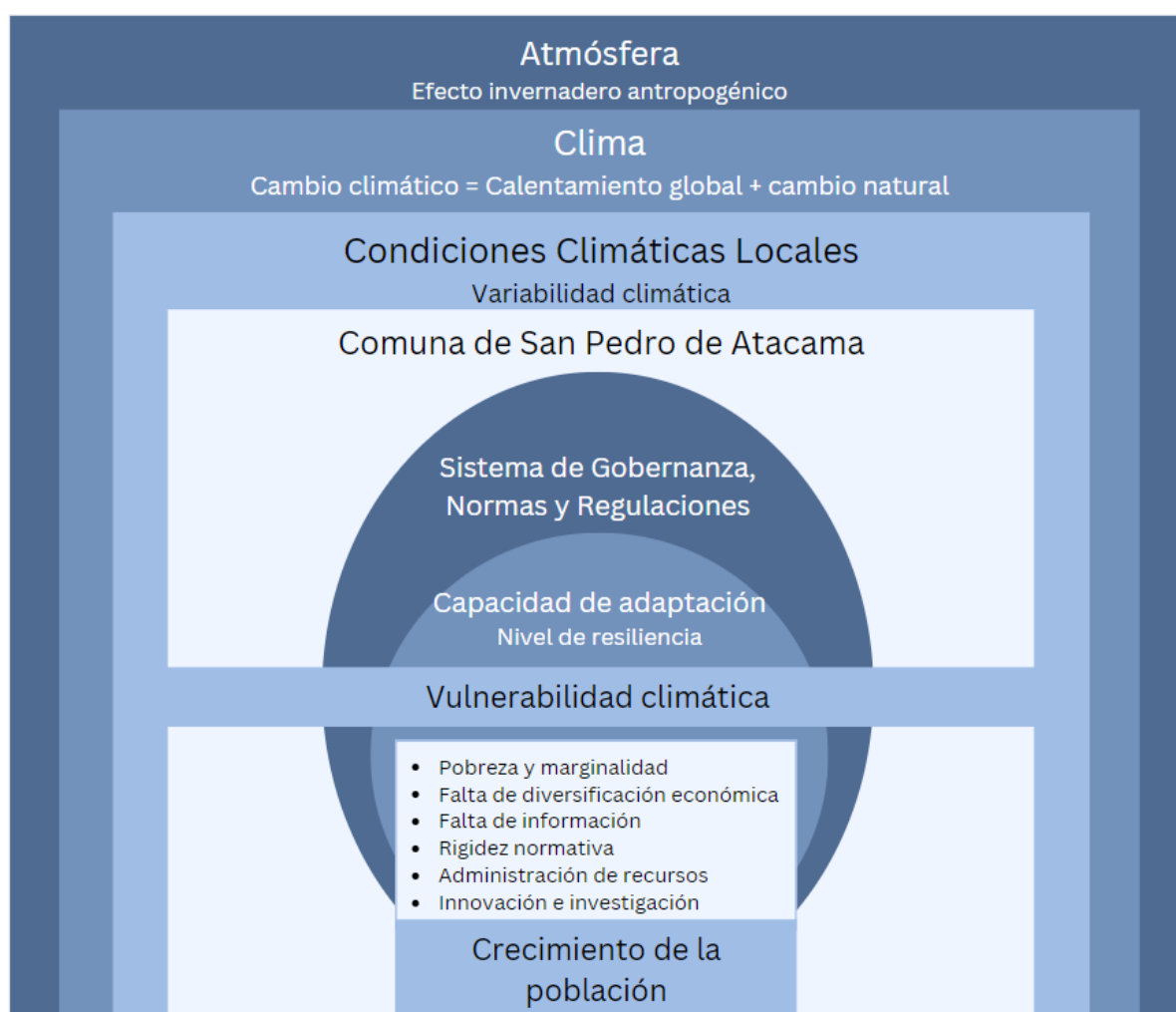
degradar ambientes naturales y con ello afectar la capacidad que estos tienen para mitigar impactos climáticos adversos.

Ante el incremento de la población y déficit habitacional, existen restricciones de suelo para la construcción de nuevas viviendas. El Plan Regulador Comunal actualizado en 2010, indica que el 100% de las 137 hectáreas disponibles para vivienda y/o uso mixto, se encuentran ocupadas, por tanto no existiría disponibilidad de uso de suelo para continuar expandiéndose. No obstante, según análisis foto interpretativo, un total de 94 hectáreas existentes que se encuentran ocupadas se encuentran por fuera de la regulación. En el caso de la localidad de Peine existen 37 hectáreas dentro del instrumento regulatorio, con 4,4 hectáreas de exceso, mientras que en Toconao, son 44 hectáreas reguladas y 11,4 en exceso. Por otro lado, en términos planimétricos es posible expandir el crecimiento urbano en zonas aledañas con escasa o nula pendientes, sin embargo, la principal restricción es la regularización de suelos y la falta de servicios básicos que conlleva la habitabilidad.

Finalmente, los factores antrópicos han de fortalecer la escasez hídrica en San Pedro de Atacama debido a la existencia de un modelo imperante de gestión del agua, avalada por el propio Código de Aguas que permite que los derechos de agua superficial y subterránea sean controlados mayoritariamente por empresas, lo que conlleva a una creciente sobreexplotación de los recursos hídricos que a su vez provoca una competencia entre la actividad agrícola y el uso del agua (Delgado et al., 2015; Gómez Maury, 2020).

De esta manera, a modo de resumen, se presenta la figura 13 con los principales efectos relacionados a vulnerabilidad en la comuna de San Pedro de Atacama.

Figura 13. Principales efectos del cambio climático ligados a vulnerabilidad y cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

- **Lineamientos de Adaptación en Política Pública asociadas al cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama**

Finalmente, este documento presenta un tercer capítulo que busca entregar lineamientos y recomendaciones para la comuna de San Pedro de Atacama en temática de política pública, en relación con el cambio climático.

Hoy en día la Ley Marco de Cambio Climático, si bien se establece a nivel central, sería capaz de generar instrumentos de gestión local que contribuirían a diseñar el Plan Ambiental de Acción Climática, otorgando así la instalación de capacidades en los municipios para garantizar una efectiva adaptación. Esto, de la mano con el compromiso de la descentralización, concepto que se requiere si se quiere atender de manera correcta a la emergencia climática en los territorios complejos, y desde una perspectiva de bajada territorial.

Por otro lado, los modelos climáticos no son suficientes para esclarecer efectos claros a escala local con respecto al cambio climático, la ausencia de estaciones de diferentes tipos de medición aumenta la incertidumbre, por tanto disminuye la capacidad de adaptación y merma una eficiente toma de decisiones a largo plazo.

Sin embargo, cabe destacar que existe una amplia potencialidad comunitaria a la hora de generar una gobernanza local del agua. La comuna cuenta con un capital social amplio que, en caso de un trabajo conjunto y coordinado, colaboraría en aumentar el éxito en acciones que promuevan la adaptación. En la misma línea, y como tarea pendiente, queda resolver conflictos dentro y desde los actores sociales del territorio, para lo cual se cuenta con amplios antecedentes de organización. Respecto al conflicto con el Estado, la nueva Constitución presentaba una gran ventaja sobre el código de aguas.

En este sentido el fuerte papel identitario que posee la comuna favorece una transición socio-técnica hacia la transición verde y lo sostenible, donde los saberes locales poseen un fuerte peso adaptativo. Esta clasificación permite identificar el importante papel que consiguen los usuarios del territorio, quienes poseen mayor grado de experiencia al hacer frente a la variabilidad del clima, gracias a sus conocimientos ancestrales en la confrontación de periodos adversos. A su vez, este proceso debe sostenerse en el tiempo, evitando solo la búsqueda de normalización que finalmente lleva al deterioro ambiental, lo que podrá alcanzarse sólo si se complementa la capacidad de adaptación por medio de inversiones, políticas, una activa planificación y entrega de información procedentes desde escalas superiores.

Por tanto, es papel de las Políticas Públicas cumplir como elementos de límite que promuevan un avance significativo en la adaptación al Cambio Climático. Muchas de las condiciones presentes en la comuna (sensibilidades) son consecuencia de políticas públicas atrasadas o marcos lógicos ineficientes.

Cabe además añadir que, desde esta perspectiva, el debate sobre el cambio climático debe consecuentemente ir más allá del artificialmente separado entre mitigación y adaptación al cambio climático. Desde este punto de vista, lo importante sería la transformación del sistema, entendida como

la alteración de los atributos fundamentales tales como el sistema de valores, las regulaciones, leyes y tecnologías, pero también como el cambio en las estructuras políticas, económicas y sociales.

Finalmente, como cierre y en contraste con lo elaborado en el apartado teórico, se exponen recomendaciones en cinco dimensiones que, según su grado de fortalecimiento, pueden contribuir a mejorar la adaptación al cambio climático en la comuna de San Pedro de Atacama.

Figura 14. Lineamientos en política pública para el fortalecimiento de la adaptación en la comuna de San Pedro de Atacama.

RECOMENDACIONES DE FORTALECIMIENTO PARA LA ADAPTACIÓN EN SPA	
Información y tecnología	(i) Dotación de servicios básicos continuo y ampliado y con innovación, (ii) acceso a información y monitoreo de variables ambientales, (iii) transición a tecnologías verdes,
Diversificación de la actividad económica	(i) Modernización de la actividades económicas, (iii) acceso a microcréditos y subsidios, (iii) garantizar el acceso a los mercados locales-regionales,
Capital Social	(i) Creación de actividades de medios de vida alternativos, (ii) cobertura educacional alta y especializada, (iii) fortalecimiento de la cohesión social,
Reducción del riesgo	(i) Alertas tempranas oportunas, (ii) planificación a largo plazo (incluyendo CC), (iii) educación ambiental y construcción de consciencia de desastre,
Gestión de recursos territoriales	(i) Normativa adecuada al contexto de SPA, (ii) fiscalización y monitoreo de actividades agravantes, (iii) gobernanza amplia, organizada y legitimada.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El Cambio Climático en la comuna de San Pedro de Atacama debe relacionarse con los conceptos de plurinacionalidad, descentralización y emergencia climática, muy de la mano con los efectos de inequidad, inseguridad, y sobre el acceso y administración de los recursos naturales en el territorio, antes que considerar situaciones puramente naturales.

El Clima es una construcción social, y por tanto, las externalidades negativas derivadas del cambio climático se resuelven en conjunto; requieren de un trabajo multisectorial y descentralizado que promueve la asociación y la resolución de problemas.

Cabe resaltar que el análisis de las vulnerabilidades socioecológicas considera escenarios particulares atribuidos a la relación local producida entre la sociedad y el ecosistema, donde son los procesos dados en comunidades locales (inestables y dinámicas en años específicos y espacios acotados), quienes son capaces de planificar estrategias de adaptación y mantenerlas a futuro.

En este sentido la necesidad de construir un instrumento de Plan de Acción Climático Comunal (y un estudio más profundo sobre adaptación) resulta primordial para superar las limitaciones sostenidas a lo largo del tiempo por la mayoría de instrumentos, regulaciones y otros enfoques normativos.

Bibliografía

Abele, G. 1981. Zonificación altitudinal morfológica e hídrica de la vertiente andina occidental en la región limítrofe chileno-peruana. *Revista Geográfica Norte Grande* 8:3-36.

Adger, N. 2000. Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in Human Geography*. 24 (3): 347-364.

Adger, N. y Kelly, P. 1999. Theory and practice in assessing vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Issue* 47:325-352.

Adger, N. 2003. Social capital, collective action and adaptation to climate change. *Economic Geography*: 387-404.

Andrade, A. 2010. Adaptación al cambio climático basada en ecosistemas. En: Naranajo, G. Cambio climático en un paisaje vivo: vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental de Colombia, Ecuador y Perú. *Natura* 65-74.

Baltazar Fernández, A., & Meseguer-Ruiz, O. (2019). Regionalización del índice de concentración en el norte de Chile y su relación con la componente orográfica (1966-2015). *Investigaciones Geográficas*, (57). <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2019.53440>.

Bocanegra, J. E. M., Edgar, J., & Caicedo, J. D. P. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 2, 7-21.

Bordieu, P. (1985). ¿ Qué significa hablar?: economía de los intercambios lingüísticos. Ediciones Akal.

Brooks, N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research and CSERGE. 38:3-20.

Brown, M. E., & Funk, C. C. (2008). Food security under climate change. *Science*, 319(5863), 580-581.

Butler, C. 1997. Social capital and sustainability: agricultura and communities in the Great Plains and Corn Belt. Journal Paper.

Butler, C. 2013. El marco de los capitales de la comunidad: cambio climático, universidades y comunidades rurales. En: Cambio climático y adaptación en el Altiplano Boliviano. Plural Editores. La paz, Bolivia.

Coleman, J. 1988. Social Capital in the Creation of Human Capital. *The American Journal of Sociology*. 94: 1-27.

Constanza, R., D'Arge, R., De Groot. R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253-259.

Daasgupta, P. y Serageldin, I. (2000) Social capital and Economic Performance: Analytics. *Critical Writings in Economic Institutions* 1-40.

Dow, K. 1992. Exploring differences in our common future: the meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum* 23(3):417-436.

Delgado, L., Torres-Gómez, M., Tironi-Silva, A., y Marín, V. 2015. Estrategias de adaptación local al cambio climático para el acceso equitativo al agua en zonas rurales de Chile. *América Latina Hoy* 69:113-137, Universidad de Salamanca, España.

Devisscher, T., Cronelbold, R., y Coll, M. 2015. Barreras, fortalezas y oportunidades para la adaptación basada en ecosistemas. Seguimiento al proceso de implementación de acciones piloto. Bosque modelo Chiquitano, Bolivia. *EcoAdapt Report*, sin lugar.

Easterling, W. 1996. Adapting North American agricultura to climate change in review. *Agricultural and Forest Meteorology* 80:1-54.

Folke, C. 2009. En: Devisscher, T., Cronelbold, R., y Coll, M. 2015. Barreras, fortalezas y oportunidades para la adaptación basada en ecosistemas. Seguimiento al proceso de implementación de acciones piloto. Bosque modelo Chiquitano, Bolivia. EcoAdapt Report, sin lugar.

Garreud, R. 2003. En: Macro y mesoclimas del altiplano andino y desierto de Atacama: desafíos de adaptación social ante su variabilidad. Revista de Geografía Norte Grande 55:19-41.

Giro, J. 2012. En: Barreras, fortalezas y oportunidades para la adaptación basada en ecosistemas. Seguimiento al proceso de implementación de acciones piloto. Bosque modelo Chiquitano, Bolivia. EcoAdapt Report, sin lugar.

Gómez-Baggethun, E. y Groot, R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. Ecosistemas. 16 (3):4-14.

Gómez-Maury (2020), O. Producción de espacio en la localidad de San Pedro de Atacama a partir de un análisis sobre su distribución de agua y gobernanza. Production of space in the town of San Pedro de Atacama from an analysis of its water distribution and governance.

Gutierrez, A. (2013). Análisis del sector turístico como clave para la definición de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en la costa de Nayarit. CONACYT.

Ibarrarán, M., Malone, E., Brenkert, A. 2013. Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2007. Cambio climático: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Informe Grupo de Trabajo de expertos. Ginebra, Suiza.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2012). Boletín 255 INIA

Islam, M.; Sallu, S.; Hubacek, K. y Paavola, J. 2014. Limits and barriers to adaptation to climate variability and change in Bangladeshi coastal fishing communities. Marine Policy 43:208-216.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Lampis, A. 2013. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. Cuadernos de Geografía/Revista Colombiana de Geografía 22:17-33.

Leary, N. A. (1999). A framework for benefit-cost analysis of adaptation to climate change and climate variability. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), 307-318.

León, M., Muñoz, C., & Sánchez, J. (2020). La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos.

Le Quéré, C., Rodenbeck, C., Buitenhuis, E. T., Conway, T. J., Langenfelds, R., Gomez, A., ... & Heimann, M. (2007). Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change. *science*, 316(5832), 1735-1738.

Lhumeau, A. y Cordero, D. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN, Quito.

Locatelli, B.; Kanninen, M.; Brockhaus, M.; Colfer, C.J.P.; Murdiyarso, D. y Santoso, H. 2009. Ante un futuro incierto: cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. CIFOR, Bogor.

McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2)*. Cambridge University Press.

Metzger, J. 2005. En: Locatelli, B.; Kanninen, M.; Brockhaus, M.; Colfer, C.J.P.; Murdiyarso, D. y Santoso, H. 2009. Ante un futuro incierto: cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. CIFOR, Bogor.

Montealegre, J. 1999. Escalas de variabilidad climática. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Bogotá, Colombia.

Moran & Morgan. 1986. En: Romero, H.; Smith, P.; Mendonca, M. y Mendez, M. 2013. Macro y mesoclimas del altiplano andino y desierto de Atacama: desafíos de adaptación social ante su variabilidad. *Revista de Geografía Norte Grande* 55:19-41.

Moreno, O. 2015. Paisajes en emergencia: transformación, adaptación, resiliencia. *Revista Invi* 83:9-17.

Norris, F.H. 2008. Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *Community Psychol.* 1-2:127-50.

Niemeyer, H. 1980. Hoya Hidrográficas de Chile: Primera Región. Dirección General de Aguas, Centro de Información Recursos Hídricos, sin lugar.

NPERF (2009) Barómetro de las conexiones a internet fijas en Chile.

Ostrom, 1993. En: Pelling, M. 2011. *Adaptation to Climate Change. From resilience to transformation*. Routledge, London and New York.

Pabon, J., Montealegre, J. 2000. La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El niño-La niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana* 2:7 21.

Pardo Buendía, M. (2007). *El impacto social del cambio climático*.

Pelling, M. 1998. En: Pelling, M. 2011. *Adaptation to Climate Change. From resilience to transformation*. Routledge, London and New York.

Pettengell, C. 2010. *Adaptación al cambio climático. Capacitar a las personas que viven en la pobreza para que puedan adaptarse*. Informe de Investigación de OXFAM, Reino Unido.

Pinilla, M.; Sánchez, J.; Rueda, A. y Pinzón, C. 2011. Variabilidad climática y cambio climático: percepciones y procesos de adaptación espontánea entre campesinos del centro de Santander, Colombia. *Ambiente y Desarrollo* 16:917-927.

Romero, H.; Smith, P.; Mendonca, M. y Mendez, M. 2013. Macro y mesoclimas del altiplano andino y desierto de Atacama: desafíos de adaptación social ante su variabilidad. *Revista de Geografía Norte Grande* 55:19-41.

Romero Toledo, H., Videla, A., & Gutiérrez, F. (2017). Explorando conflictos entre comunidades indígenas y la industria minera en Chile: las transformaciones socioambientales de la región de Tarapacá y el caso de Lagunillas. *Estudios atacameños*, (55), 231-250.

Samaniego, J., & CEPAL, N. (2008). *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña*.

Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (62), 169-183.

Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O., & Romero-Aravena, H. (2017). Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Diálogo andino*, (54), 41-50.

Sepúlveda Rivera, I., Molina Otárola, R., Delgado-Serrano, M. D. M., & Guerrero Ginel, J. E. (2015). Aguas, riego y cultivos: cambios y permanencias en los ayllus de San Pedro de Atacama. *Estudios atacameños*, (51), 185-206.

Smit, B. y Pilifosova, O. 2003. *Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity*. IPCC 18: 879-906.

Takahashi, K. (2010). Cambio climático, investigación e incertidumbre. Instituto Geofísico del Perú–IGP. Perú.

Valdivia, C., Seth, A., Jiménez, E. 2013. En: Cambio climático y adaptación en el Altiplano Boliviano. Plural Editores. La paz, Bolivia.

Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B., & González, P. (2006). Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical research letters*, 33(13).