



# Estudio de Cambio Climático

## Proyecto San Jorge (PSJ)

Mendoza - Argentina

Preparado para: **Proyecto San Jorge**



Preparado por: **GT Ingeniería SA**

Proyecto N°: 210313 - 033 - Rev00

Noviembre 2022

### Límites y excepciones

Este documento se limita a reportar las condiciones identificadas en y cerca del predio, tal como eran al momento de confeccionarlo y las conclusiones alcanzadas en función de la información recopilada y lo asumido durante el proceso de evaluación y se limita al alcance de los trabajos oportunamente solicitados, acordados con el cliente y ejecutados hasta el momento de emitir el presente informe.

Las conclusiones alcanzadas representan opinión y juicio profesional basado en la información estudiada en el transcurso de esta evaluación, no certezas científicas.

Todas las tareas desarrolladas para la confección del documento se han ejecutado de acuerdo con las reglas del buen arte y prácticas profesionales habitualmente aceptadas y ejecutadas por consultores respetables en condiciones similares. No se otorga ningún otro tipo de garantía, explícita ni implícita.

Este informe sólo debe utilizarse en forma completa y ha sido elaborado para uso exclusivo de Proyecto San Jorge en adelante (PSJ). no estando ninguna otra persona u organización autorizada para difundir, ni basarse en ninguna de sus partes sin el previo consentimiento por escrito de PSJ, solamente PSJ, puede ceder o autorizar la disponibilidad de una o la totalidad de las partes del presente informe, por ello, todo tercero que utilice o se base en este informe sin el permiso de PSJ expreso por escrito, acuerda y conviene que no tendrá derecho legal alguno contra PSJ, GT Ingeniería SA, ni contra sus consultores y subcontratistas y se compromete en mantenerlos indemne de y contra toda demanda que pudiera surgir.

**Tabla 00: Control de Revisiones**

Nombre y Apellido	N° de Revisión	Fecha	Aprobación Nombre y Apellido	Fecha Aprobación
Lara Della Ceca	Rev.00	01/11/2022		

## Tabla de contenidos

I.	Resumen Ejecutivo.....	1
II.	Información General.....	3
1.	Nombre del Proyecto.....	3
1.1.	Datos del Cliente.....	3
1.2.	Actividad principal de la empresa.....	3
2.	Nombre de los responsables técnicos del Estudio.....	3
2.1.	Profesionales intervinientes.....	3
3.	Domicilio real y legal del responsable técnico. Teléfonos.....	3
3.1.	Domicilio Real.....	3
3.2.	Domicilio Legal.....	3
III.	Definiciones y terminología vinculadas a Cambio Climático.....	4
4.	Cambio Climático – Siglas y definiciones.....	4
IV.	Introducción.....	5
5.	Cambio Climático y actividad minera.....	5
V.	Alcance y objetivos.....	7
6.	Alcance y Objetivo general.....	7
VI.	Metodología.....	8
7.	Metodología de análisis.....	8
7.1.	Área de Estudio: Ubicación del Proyecto San Jorge.....	8
7.2.	Análisis de Impacto Climático.....	9
7.2.1.	Forzamiento radiativo y escenarios climáticos.....	9
7.2.2.	Estaciones meteorológicas en el sitio y su entorno.....	11
7.2.3.	Análisis de la base de datos de la 3CNCC.....	13
VII.	Cambio Climático.....	15
8.	Análisis de variabilidad climática presente y futura.....	15
8.1.	Condiciones actuales del clima local, variabilidad y tendencias en el pasado reciente (1960-2010).....	15
8.1.1.	Análisis de la temperatura actual e histórica.....	15
8.1.2.	Análisis de la precipitación actual e histórica.....	17
8.2.	Variabilidad y tendencias climáticas en el futuro.....	20
8.2.1.	Temperatura.....	20
8.2.2.	Precipitación.....	25
8.2.3.	Extremos climáticos.....	27
8.3.	Conclusiones.....	31
VIII.	Bibliografía.....	33

## Mapas

---

Mapa 7.1	Ubicación del Proyecto San Jorge.....	9
Mapa 7.2	Ubicación Estaciones meteorológicas respecto al PSJ.....	12

## Gráficas

Gráfica 5.1 Anomalía térmica de la temperatura media global .....	5
Gráfica 7.1 Cambio medio de temperatura superficial según las distintas trayectorias de concentración representativas (RCP) .....	11
Gráfica 8.1 Ciclo anual de la temperatura en la estación meteorológica Uspallata (SMN) para el período 1970-2021.....	15
Gráfica 8.2 Series temporales de temperatura media, máxima y mínima promedio anual y sus tendencias lineales (línea punteada) en la estación meteorológica Uspallata (SMN) en el período 1970-2021.....	16
Gráfica 8.3 Series temporales de temperatura media según la estación del año (Ene-Feb-Mar ~ verano, Abr-May-Jun ~ otoño, Jul-Ago-Sep ~ invierno, Oct-Nov-Dic ~ primavera) según los registros de la estación meteorológica Uspallata (SMN) para el período 1970-2021 .....	17
Gráfica 8.4 Precipitación anual acumulada en la estación meteorológica Uspallata (SMN) en el período 1970-2021.....	18
Gráfica 8.5 Ciclo anual de la precipitación acumulada en PSJ a partir de datos meteorológicos obtenidos EMA-BN (jul 2008-jun 2019) y EMA-TSF (nov 2016-jun 2019).....	18
Gráfica 8.6 Serie temporal de precipitación acumulada anual en PSJ en el período 1960-2010 y su tendencia lineal (línea punteada).....	19
Gráfica 8.7 Serie temporal de precipitación acumulada según estación del año (Ene-Feb-Mar ~ verano, Abr-May-Jun ~ otoño, Jul-Ago-Sep ~ invierno, Oct-Nov-Dic ~ primavera) en el área operativa de PSJ en el período 1960-2010 y sus tendencias lineales (línea punteada) .....	20
Gráfica 8.8 Simulaciones de temperatura media anual en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4.5 y RCP 8.5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR .....	21
Gráfica 8.9 Simulaciones de temperatura máxima y mínima media anual en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR ... ..	23
Gráfica 8.10 Cambio en la precipitación acumulada anual con respecto al periodo 1986-2005. Resultados del modelo IPSL-CM5A-MR para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en el futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) .....	26
Gráfica 8.11 Simulación del valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR.....	28
Gráfica 8.12 Simulación del número de días con helada en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR.....	28
Gráfica 8.13 Simulación del porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90 en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR .....	29
Gráfica 8.14 Simulación de la duración de las olas de calor en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR.....	30
Gráfica 8.15 Simulación de la precipitación diaria máxima del año en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR.....	30

## Figuras

Figura 7.1 Detalle de la visualización en la base de datos de la 3CNCC .....	13
--	----

Figura 8.1 Cambio en la temperatura media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR.....22

Figura 8.2 Cambio en la temperatura máxima media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR.....24

Figura 8.3 Cambio en la temperatura mínima media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR.....25

Figura 8.4 Cambio en la precipitación acumulada anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR.....27

## Tablas

---

Tabla 2.1 Profesionales Intervinientes:.....3

3 de noviembre de 2022

Ing. Marcelo Cortés  
Proyecto San Jorge (PSJ)

**R: Proyecto San Jorge, Estudio de Cambio Climático, Mendoza**

GT Ingeniería S.A. ha sido contratada por Proyecto San Jorge para el desarrollo de la Línea de Base Ambiental del Proyecto.

El presente Informe, se enmarca en dicho objetivo y corresponde al estudio de cambio climático.

Atentamente,

**Mario Cuello**

Gerente General

---

GT Ingeniería S.A.  
T: +54 261 6184217

## I. Resumen Ejecutivo

---

Como consecuencia del cambio climático, se generan nuevas condiciones ambientales que resultan en modificaciones a escala global, regional y local en la frecuencia e intensidad de los procesos atmosféricos. Los futuros incrementos esperados en la variabilidad climática y los cambios en las frecuencias y magnitudes de los eventos extremos perturbarán los sistemas hidrológicos existentes y afectarán las actividades dependientes de los recursos hídricos. Los mayores impactos ocurrirán en las zonas más vulnerables a estos cambios.

El Proyecto San Jorge dista en línea recta 90 km en dirección noroeste de la ciudad de Mendoza, a 39 km en dirección noroeste de la localidad de Uspallata.

En el presente documento se describen las condiciones del clima en el pasado reciente a partir de datos medidos en superficie desde la estación meteorológica Uspallata (Servicio Meteorológico Nacional), que corresponde a la estación meteorológica más cercana al Proyecto San Jorge (en adelante PSJ) con mayor registro de mediciones (1970-2021). Además, a partir de la base de datos de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (3CNCC), se describen las proyecciones climáticas para el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) en dos posibles escenarios de emisiones: intermedias (RCP4.5) y altas (RCP8.5), para las variables temperatura, precipitación y los índices climáticos considerados relevantes para el área de estudio.

El modelo seleccionado para evaluar las proyecciones climáticas es IPSL-CM5A-MR desarrollado por el Institut Pierre Simon Laplace, Francia. Este modelo es el que mejor ajusta para la región andina Argentina, según el análisis de validación de los distintos modelos climáticos sobre el territorio argentino que se presenta en el Capítulo 3 de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (3CNCC).

Respecto a la temperatura anual media, en el pasado reciente (1970-2021) se observa una leve tendencia de incremento, aunque no significativa, con una gran variabilidad interanual. Al evaluar la tendencia considerando las estaciones del año se observó que en primavera (octubre, noviembre, y diciembre) e invierno (julio, agosto y septiembre) la tendencia de incremento es más evidente respecto del resto de las estaciones del año.

En el pasado reciente, la precipitación acumulada anual no muestra una tendencia muy significativa. Al igual que en la temperatura, se observó que la tendencia de la precipitación acumulada varió según la estación del año a lo largo del período 1970-2021. En primavera (octubre, noviembre y diciembre) y verano (enero, febrero y marzo), la tendencia lineal presenta una pendiente positiva cercana al 5% en ambos períodos, mientras que en otoño (abril, mayo y junio) e invierno (julio, agosto y septiembre) la tendencia presenta una pendiente negativa de -1,6% y -0,5% respectivamente.

Las proyecciones del modelo IPSL-CM5A-MR muestran un incremento de 0,6 °C para el escenario de emisiones intermedias (RCP4.5) y de 1,1 °C para el escenario de emisiones altas (RCP8.5) en el futuro cercano (período 2015-2039) en el área de PSJ. En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5) el incremento observado en el período 2015-2039 no se sostiene en el futuro lejano (2075-2099), en este último período la tendencia presenta una menor pendiente sin incrementos significativos. En cambio, el escenario de emisiones altas (RCP8,5) muestra una tendencia positiva con una pendiente pronunciada en ambos períodos, para este escenario se espera un incremento de 1,3°C en el futuro lejano.

Tanto la temperatura mínima como la máxima muestran tendencias similares a la descrita para la temperatura media, con incrementos similares para ambos escenarios de emisiones (RCP4,5 y RCP8,5) en el futuro cercano pero una marcada diferencia entre ambos escenarios para el futuro lejano. En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5), se espera un incremento de aproximadamente 0,6 °C tanto en la temperatura máxima como en la temperatura mínima para el futuro cercano (2015-2039). Al igual que en la temperatura media, en el escenario de emisiones altas (RCP8,5) se espera un incremento sostenido en ambos períodos, de aproximadamente 1 °C en el futuro cercano y de 1,3 °C para el futuro lejano tanto en la temperatura máxima como mínima.

En cuanto a la precipitación acumulada esperada, las simulaciones del modelo muestran que, en el futuro cercano, los dos escenarios considerados presentan una gran variabilidad interanual. En un escenario de emisiones intermedias, el modelo no muestra una tendencia evidente para el futuro cercano (2015-2039) pero si una leve tendencia negativa hacia el futuro lejano (2075-2099). En el caso

del escenario de emisiones altas, se espera un descenso relativamente significativo de la precipitación acumulada anual tanto para el futuro cercano (38,1 mm) como para el futuro lejano (34,8 mm).

Consistente con los resultados obtenidos para temperatura, los extremos climáticos de temperatura muestran una tendencia hacia condiciones más cálidas, principalmente en el futuro lejano, en ambos escenarios de emisiones. Se espera un incremento de la duración de las olas de calor, del porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90, en el valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima y una disminución en el número de días con helada.

Respecto al indicador que considera la precipitación diaria máxima del año, muestra una leve tendencia de disminución, consistente con la disminución poco marcada de la precipitación acumulada anual.

A pesar de que el descenso de la precipitación no parece ser muy importante en el futuro en el área de PSJ, en combinación con el incremento de la temperatura proyectado y el posible incremento en la evaporación, es de esperar una disminución relativa del agua disponible en la región. El período de mayor impacto correspondería al futuro lejano.

Estos resultados muestran una tendencia posiblemente irreversible de calentamiento para las próximas décadas, aunque marcando una clara diferencia para los potenciales cambios en los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.

## II. Información General

---

### 1. Nombre del Proyecto

San Jorge

#### 1.1. Datos del Cliente

Proyecto San Jorge

#### 1.2. Actividad principal de la empresa

Explotación minera

### 2. Nombre de los responsables técnicos del Estudio

#### GT Ingeniería S.A.

Lic. en Cs. Geológicas Mario Cuello

Inscripta en el Registro de Consultores Ambientales de la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial de la provincia de Mendoza, según Resolución N° 844, bajo Expediente N° EX-2021-06923434- -GDEMZA-SAYOT, N° de Certificado 0041.

#### 2.1. Profesionales intervinientes

En la siguiente tabla se presentan los profesionales que han participado de la elaboración del informe y las funciones/disciplinas desarrolladas.

**Tabla 2.1 Profesionales Intervinientes:**

Nombre	Título	Puesto	Función
Mario Cuello	Geólogo. Esp. en Ingeniería Ambiental	Director de Proyecto	Revisión del Informe
Mariana Gutiérrez	Ing. Química	Jefe de Servicio	Revisión del Informe
Lara Della Ceca	Dra. en Cs Naturales y Lic. En Biología	Consultora Senior - Cambio Climático	Desarrollo del Informe

Fuente: Datos proporcionados por los profesionales /Arial 8/Espaciado 0-6.

### 3. Domicilio real y legal del responsable técnico. Teléfonos

#### 3.1. Domicilio Real

Vicente Gil 330.

Ciudad (5500), Mendoza.

E-mail: [info@gtarg.com](mailto:info@gtarg.com)

#### 3.2. Domicilio Legal

Barrio Petroleros, Mz A, C8.

Dorrego (5519), Mendoza

### III. Definiciones y terminología vinculadas a Cambio Climático

---

#### 4. Cambio Climático – Siglas y definiciones

**IPCC:** siglas en inglés correspondiente al 'Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático' (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Es una organización internacional, constituida por numerosos países establecida por primera vez en el 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El IPCC tiene por objetivo analizar de manera exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante existente para entender el riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo.

**Gases de efecto invernadero (GEI):** gases atmosféricos, tanto de origen natural como antrópico, que absorben y remiten radiación infrarroja. Entre los de mayor importancia se encuentran: vapor de agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFCs) y ozono (O<sub>3</sub>).

**3CNCC:** siglas correspondiente a 'Tercera Comunicación de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático' (SAyDS, 2014).

**Resiliencia:** Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

**Vulnerabilidad:** Predisposición a que un territorio o comunidad sea afectada negativamente por una amenaza.

**Amenaza/Peligro:** Fenómenos que, por su ubicación, severidad y frecuencia; tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades (actividad minera, por ejemplo).

**Forzamiento radiativo:** Diferencia entre la radiación solar absorbida por la Tierra y la radiación reflejada hacia el espacio. Si la Tierra absorbe más energía de la que emite (o refleja), ocurre una ganancia de energía neta y se observará calentamiento (forzamiento radiativo positivo). En cambio, si la Tierra emite más energía del Sol de la que refleja se produce enfriamiento (forzamiento radiativo negativo).

**Adaptación al Cambio Climático:** Es una estrategia de gestión que considera un conjunto de políticas, medidas y acciones que tiendan a minimizar los impactos adversos del cambio climático y maximizar los positivos.

**Mitigación al Cambio Climático:** Es una estrategia de gestión que considera un conjunto de políticas, medidas y acciones que tienen como objetivo disminuir la emisión de gases de efecto invernadero con el fin de reducir la intensidad del forzante radiativo y sus potenciales efectos de calentamiento global.

**Pasado reciente:** Con fines prácticos para el presente documento es definido como el período comprendido entre los años 1960-2010.

**Futuro cercano:** Con fines prácticos para el presente documento es definido como el período comprendido entre los años 2015-2039. Es el período de mayor relevancia para las acciones de adaptación al cambio climático.

**Futuro lejano:** Con fines prácticos para el presente documento es definido como el período comprendido entre los años 2075-2100.

**Modelo climático:** Representación numérica (modelo matemático) de los procesos principalmente físicos que se producen en la atmósfera, océanos y la superficie terrestre.

## IV. Introducción

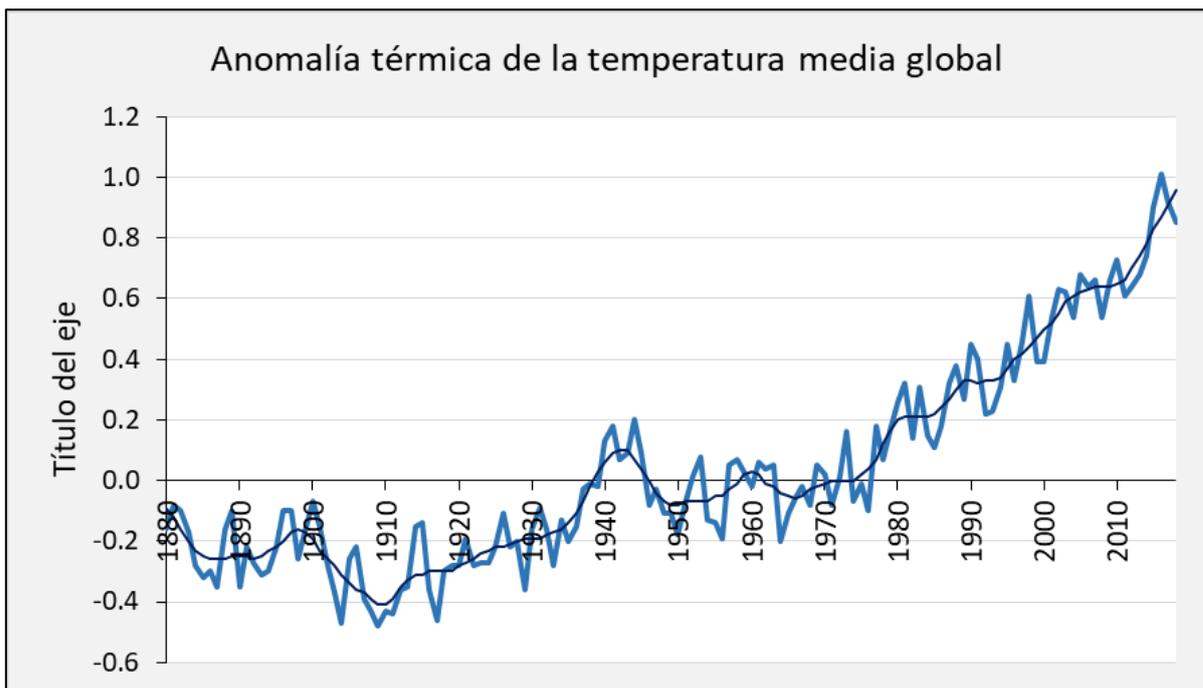
### 5. Cambio Climático y actividad minera

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta en niveles óptimos para el desarrollo de la vida. El mismo se produce gracias a la capacidad de ciertos gases atmosféricos de retener calor, que son denominados gases de efecto invernadero (GEI).

Los gases de efecto invernadero más importantes y sus fuentes de emisión corresponden a: vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ; asociado a combustión de carburantes fósiles y madera, erupciones volcánicas), metano ( $\text{CH}_4$ ; obtenido de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, combustión de biomasa, venteo de gas natural), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ; generado por agricultura, combustión de carburantes fósiles), clorofluorcarbonos (CFC; de origen sintético – aerosoles, espumas, entre otros) y ozono ( $\text{O}_3$ ; producto de la combustión de carburantes fósiles).

Desde la revolución industrial, debido al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de las actividades antrópicas (industrial, agrícola, por ejemplo) y la reducción de sumideros que capturen dichos gases (deforestación, cambios de uso del suelo, entre otros) se intensificó el efecto invernadero. Como consecuencia, se produjo un calentamiento global que se evidencia en el incremento de la temperatura media global. La Figura 5.1 muestra la anomalía térmica de la temperatura media global desde 1880 hasta la actualidad, es decir la desviación del valor de la temperatura media global respecto a su valor normal (promedio histórico).

**Gráfica 5.1 Anomalía térmica de la temperatura media global**



Fuente: NASA's *Goddard Institute for Space Studies* (GISS).

Como consecuencia del cambio climático, se generan nuevas condiciones ambientales que resultan en modificaciones a escala global, regional y local en la frecuencia e intensidad de los procesos atmosféricos. Los futuros incrementos esperados en la variabilidad climática y los cambios en las frecuencias y magnitudes de los eventos extremos perturbarán los sistemas hidrológicos existentes y afectarán las actividades dependientes de los recursos hídricos. Los mayores impactos ocurrirán en las zonas más vulnerables a estos cambios.

El reporte del IPCC AR5 (Arent et al., 2014) señala el alto nivel de vulnerabilidad de la industria minera al cambio climático. Dicho informe afirma que el cambio climático afectará tanto la exploración como la extracción, producción y transporte en la industria minera y de canteras. El incremento de los riesgos

relacionados con el clima (como incendios forestales, inundaciones, tormentas de viento, sequías) afectará la viabilidad de las operaciones mineras y potencialmente aumentará los costos de operación, transporte, desmantelamiento y rehabilitación de los sitios. La mayor parte de la infraestructura en la industria minera se construyó sobre la presunción de un clima estable, y por lo tanto esta industria no se encuentra adaptada al cambio climático (Ford et al., 2010; Pearce et al., 2011).

Los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos que pueden ser ya preocupantes podrían hacerse más frecuentes y/o más severos a través de cambios en los patrones climáticos y meteorológicos globales y regionales. El cambio climático podría afectar los sitios y sus operaciones a través de:

- Aumentar los riesgos físicos para las operaciones centrales, los activos y la infraestructura derivada de daños por inundación o tormenta.
- Crear nuevos riesgos u oportunidades de cadena de valor.
- Hacer cambios positivos (por ejemplo, menores costos) y negativos (p. ej., interrupciones) en la red más amplia de negocios y operaciones.
- Aumentar la competencia por recursos sensibles al clima, como el agua y la energía.
- El aumento de la hostilidad hacia la minería en áreas donde el medio ambiente y las comunidades locales están preocupados por su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático.
- Afectar a la comunidad y a la fuerza laboral por condiciones como la sequía que afecta al suministro de alimentos, el aumento de las enfermedades transmitidas por vectores o la falta de disponibilidad de recursos como la electricidad.

Para poder proponer e implementar políticas de gestión considerando el contexto de Cambio Climático surge la necesidad de estimar los potenciales impactos de la variabilidad del cambio climático y generar capacidades que permitan reducir el riesgo de desastres. Para ello, resulta necesario realizar una evaluación del comportamiento histórico de la variabilidad y los eventos extremos de las variables climáticas más relevantes para la región (precipitación, temperatura) y generar escenarios climáticos que permitan anticipar las posibles direcciones de las tendencias futuras.

A futuro, este análisis permitirá detectar oportunidades y considerar medidas de adaptación al Cambio Climático por parte de PSJ.

## V. Alcance y objetivos

---

### 6. Alcance y Objetivo general

Como parte del estudio de Línea de Base del Proyecto, PSJ prevé llevar a cabo la caracterización y cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a las actividades del mismo a lo largo de su ciclo de vida.

El contenido del presente Informe presenta los resultados obtenidos del análisis los datos climatológicos de Línea de Base considerando la variabilidad proyectada en las condiciones climáticas y ambientales que podrían producirse durante el ciclo de vida del Proyecto. Se realizarán proyecciones para variables climáticas clave (temperatura, precipitaciones e indicadores extremos relevantes para la región de estudio) sobre distintos escenarios de emisiones definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés).

Dado que el cambio climático es un fenómeno ambiental de características regionales, el área de estudio abarcará no sólo el área de localización del PSJ si no que se incluirá toda la provincia de Mendoza.

A partir de los resultados obtenidos de las proyecciones climáticas en el área de estudio, se determinarán los posibles impactos vinculados al cambio climático para el Proyecto.

## VI. Metodología

---

### 7. Metodología de análisis

A partir de los datos de la estación meteorológica Uspallata del Servicio Meteorológico Nacional se analiza las tendencias climáticas de las principales variables (temperatura y precipitación) en el pasado reciente. Considerando la base de datos de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, se analizan los resultados del modelo que mejor ajusta a la región de estudio para evaluar las tendencias climáticas en el pasado reciente, el futuro cercano y lejano.

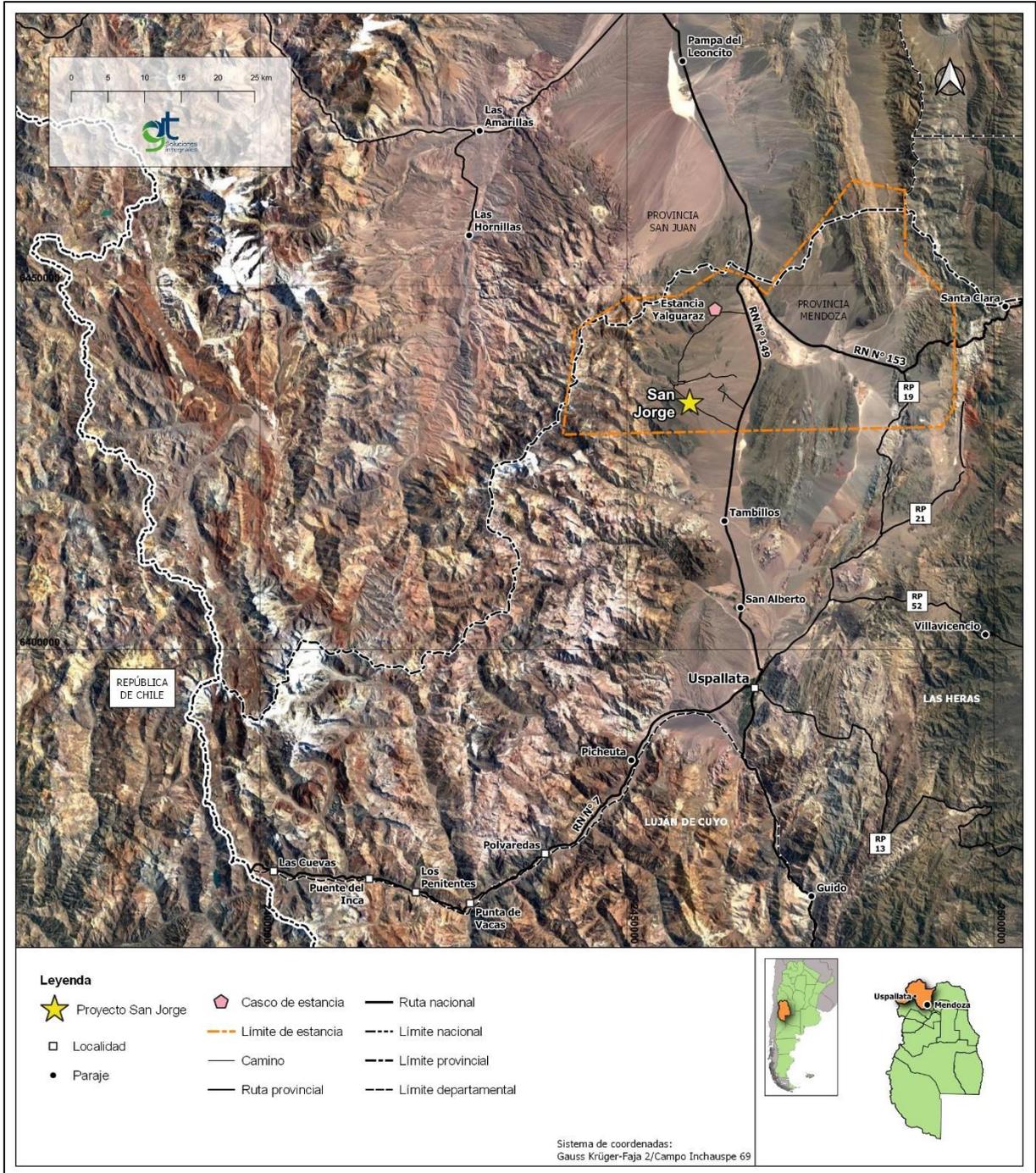
#### 7.1. Área de Estudio: Ubicación del Proyecto San Jorge

El Proyecto (PSJ) se ubica en el distrito Uspallata, departamento Las Heras, de la provincia de Mendoza, República Argentina. Se encuentra entre los 32° 10' de Latitud sur y los 69°27' Longitud oeste, en la Precordillera mendocina a una altura aproximada de 2.400-2.900 msnm.

Considerando el área central de la propiedad minera, el PSJ dista en línea recta 90 km en dirección noroeste de la ciudad de Mendoza, a 39 km en dirección noroeste de la localidad de Uspallata y a 66 km en dirección suroeste de la localidad Barreal, de la provincia de San Juan. Además, dista en dirección al norte del paraje San Alberto 28 km, del paraje Tambillos 16 km y de la estancia Chiquero 14,5 km, y en dirección suroeste de la estancia Yalguaraz 13,5 km.

La vía de acceso terrestre principal al área del PSJ es desde la ciudad de la provincia Mendoza, por la Ruta Nacional N° 40. Se recorren 19 km hacia el sur hasta el empalme con la Ruta Nacional N° 7 y luego hacia el oeste, en dirección a Chile, se transitan 97 km hasta la ciudad de Uspallata. Luego en dirección norte, por la Ruta Nacional N° 149 (ex Provincial N° 39), se recorren 37 km. Desde este punto, por camino de tierra consolidado e interno a 6 km al oeste se ubicará el PSJ al pie del cerro San Jorge. Otra alternativa de acceso al PSJ, es desde la localidad Barreal, provincia de San Juan, por la Ruta Nacional N° 149 transitando 76 km, tomando luego el camino de tierra consolidado e interno y recorriendo 6 km.

## Mapa 7.1 Ubicación del Proyecto San Jorge



Fuente: GT Ingeniería, 2022.

## 7.2. Análisis de Impacto Climático

Para estimar los potenciales impactos del clima, resulta adecuado desarrollar escenarios climáticos que permitan denotar un estado plausible del sistema climático ante diferentes tipos de forzamientos radiativos (forzamiento climático).

### 7.2.1. Forzamiento radiativo y escenarios climáticos

El forzamiento radiativo hace referencia a la diferencia entre la radiación solar absorbida por la Tierra y la radiación reflejada hacia el espacio. Si la Tierra absorbe más energía de la que emite (o refleja),

ocurre una ganancia de energía neta y se observará calentamiento (forzamiento radiativo positivo). En cambio, si la Tierra emite más energía del Sol de la que refleja se produce enfriamiento (forzamiento radiativo negativo). Los factores que alteran el equilibrio radiativo de la Tierra, causando cambios en el sistema climático, forzando a la temperatura a subir o bajar se denominan forzamientos climáticos.

Un escenario climático es una descripción plausible de cómo se puede desarrollar el futuro basada en un conjunto coherente y consistente de supuestos sobre las fuerzas impulsoras clave (p. ej., tasa de cambio tecnológico) y relaciones de distintos factores (p. ej., cambios de uso del suelo, etc). Los escenarios no son predicciones ni pronósticos, son útiles para proporcionar una visión de las implicancias que puedan tener el desarrollo de diversas acciones.

Para evaluar posibles escenarios climáticos futuros se utilizan modelos climáticos. Un modelo climático es una representación numérica de los procesos físicos que se producen en la atmósfera, océanos y la superficie terrestre. Es decir, es un método de investigación cuantitativa que permite simular interacciones de la atmósfera, los océanos, el relieve y la superficie terrestre. Mediante un complejo sistema de programas informáticos se realiza la simulación del sistema climático y sus variaciones bajo distintas condiciones de radiación solar y de cambios en la superficie terrestre, como por ejemplo el cambio de uso del suelo.

Actualmente, los modelos climáticos de Circulación General (GCMs, por su sigla en inglés) constituyen la herramienta disponible más confiable para la generación de información acerca de las tendencias climáticas futuras en la escala de decenios a un siglo. Los modelos permiten evaluar y simular la posible respuesta del sistema climático a acciones antrópicas (p.ej., cambio de uso del suelo) o cambios naturales en los forzamientos externos, a distintas condiciones de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y de aerosoles atmosféricos.

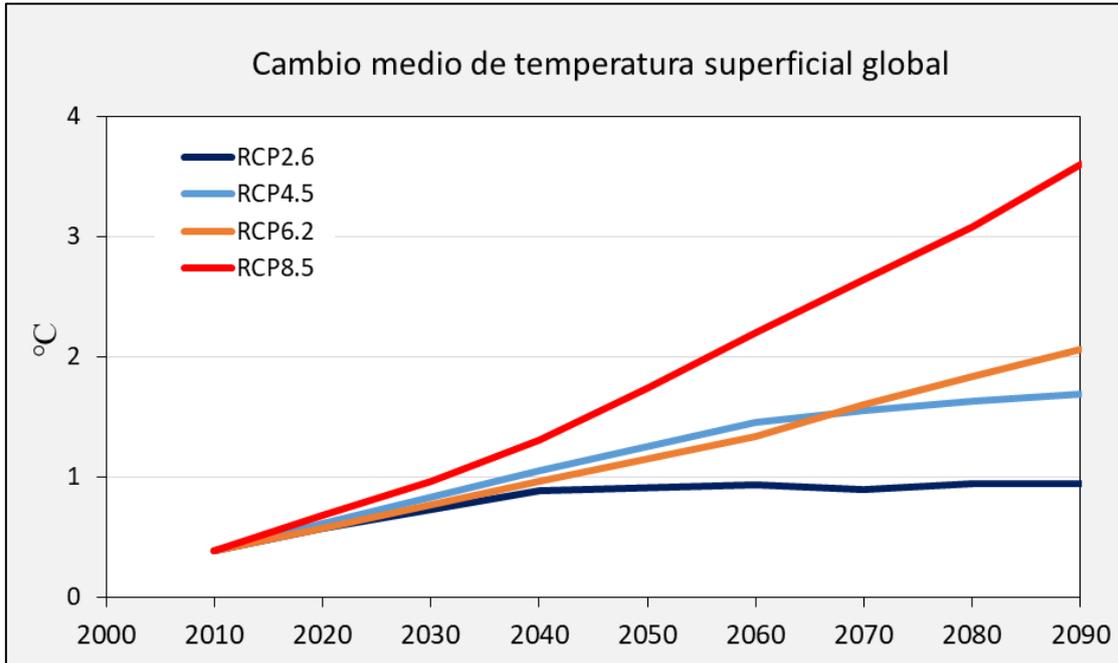
Es posible realizar un análisis de validación de los modelos climáticos y determinar cuáles modelos climáticos son los más adecuados para cada región. Para ello, se realiza la simulación de las características del clima y de sus cambios registrados en el pasado reciente y se comparan los resultados con los valores registrados por estaciones meteorológicas en el mismo período.

A pesar de que numerosos países se comprometieron, a partir del acuerdo de París (COP21) en diciembre de 2015, a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero con el objetivo de disminuir la concentración atmosférica de GEI y revertir el forzamiento radiativo positivo observado hasta el presente, no hay certeza de qué concentraciones de GEI tendremos en las próximas décadas. Por ello, al analizar las proyecciones futuras del clima, deben considerarse distintos escenarios. En el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2013) se definieron cuatro escenarios denominados 'trayectorias de concentración representativas' (RCP, según su sigla en inglés, Moss et al., 2010), que se definen por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiativo total en el año 2100 respecto del año 1750:

- **Escenario RCP2,6:** supone un forzamiento radiativo de 2,6 W/m<sup>2</sup> (escenario RCP2,6). Considera un escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento muy bajo, es decir, que las acciones de mitigación (para disminuir la concentración de GEI) llevadas a cabo por los distintos países tienen un efecto positivo. Supone un incremento de la temperatura media global de 1 °C.
- **Escenario RCP4,5:** supone un forzamiento radiativo de 4,5 W/m<sup>2</sup>. Considera un escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento intermedio. Supone un incremento de la temperatura media global de 2 °C.
- **Escenario RCP6,0:** supone un forzamiento radiativo de 6,0 W/m<sup>2</sup>. Considera un escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento intermedio, pero más elevado que el anterior. Supone un incremento de la temperatura media global de 2,5 °C.
- **Escenario RCP8,5:** supone un forzamiento radiativo de 8,5 W/m<sup>2</sup> (escenario RCP8,5). Considera un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero. Supone un incremento de la temperatura media global de 4,3°C.

Dada la incertidumbre sobre qué escenario será el más similar a la realidad en un futuro, cuando se analizan las proyecciones climáticas, se consideran los distintos escenarios propuestos por el IPCC.

**Gráfica 7.1 Cambio medio de temperatura superficial según las distintas trayectorias de concentración representativas (RCP)**



Fuente: IPCC, 2013.

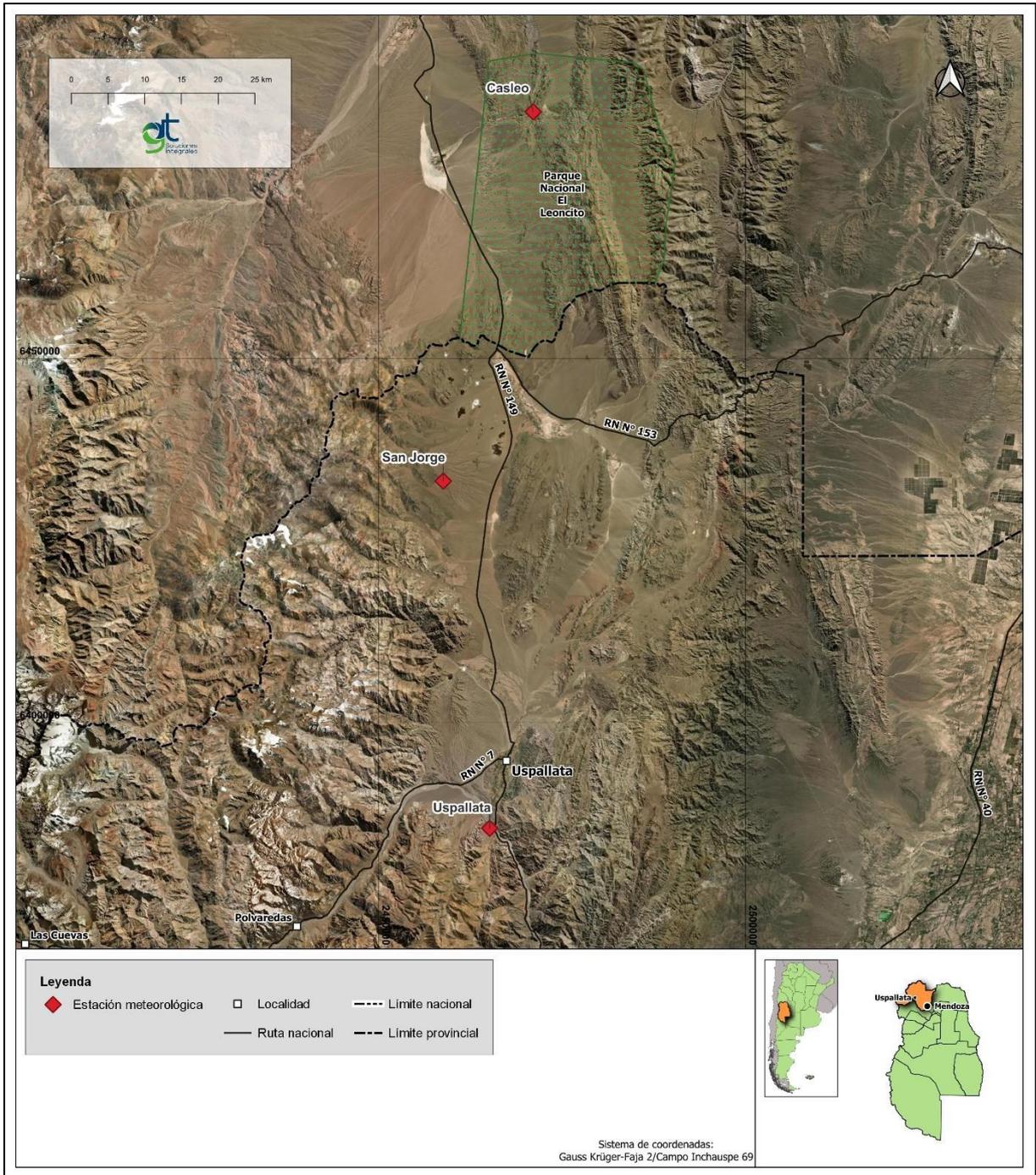
A continuación, se realiza la descripción de las condiciones actuales del clima a partir de datos medidos en superficie desde estaciones meteorológicas cercanas al área del PSJ y, a partir de la base de datos de la 3CNCC, se analizan las proyecciones climáticas para el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) en los escenarios RCP4,5 y RCP8,5.

### 7.2.2. Estaciones meteorológicas en el sitio y su entorno

El PSJ cuenta con una estación meteorológica (denominada estación San Jorge, ubicada en las coordenadas Y: 2457873, X: 6434801<sup>1</sup>, a 2600 m s.n.m.) con registros de variables climáticas para el periodo 2007-2011; en cercanías al Proyecto se encuentran: la estación meteorológica Uspallata (ubicada en las coordenadas Y: 2465141,87, X: 6385471,94<sup>1</sup>, a 1891 m s.n.m.) propiedad del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con datos del periodo 1970-2021 y la estación meteorológica Cerro Burek, propiedad Complejo Astronómico El Leoncito (ubicada en las coordenadas Y: 2471070.95, X: 6483872.79<sup>1</sup>, a 2591 m s.n.m.) con datos del período 2005-2021 (ver Mapa 7.2).

<sup>1</sup> Gauss Krüger Faja 2 – POSGAR 94

### Mapa 7.2 Ubicación Estaciones meteorológicas respecto al PSJ



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022.

La descripción del clima y meteorología del área del PSJ y su entorno se desarrolló a partir de la base de datos de las estaciones meteorológicas mencionadas y los resultados se presentaron en el documento 'Estudio de Línea de Base Ambiental - Proyecto San Jorge (PSJ) Disciplina: Clima y Meteorología' (GT Ingeniería S.A, Mayo 2022).

A pesar de que los datos aportados por las estaciones meteorológicas locales son de gran importancia para caracterizar el clima en la región de estudio, los períodos comprendidos por estas bases de datos en las estaciones San Jorge (4 años) y Cerro Burek (16 años) son insuficientes para determinar tendencias significativas en las variables meteorológicas a lo largo del tiempo. Para evaluar si han ocurrido cambios significativos en los componentes del clima se precisa comparar períodos

prolongados para que la variabilidad interanual no interfiera de manera significativa en los análisis. La estación Uspallata (SMN), aunque presenta algunos años sin valores (2000 a 2005), presenta registros para un período de tiempo de alrededor de 50 años que sí es adecuado para este propósito.

Por ello, para analizar la variabilidad del clima en el pasado reciente y hasta el presente se utilizaron los registros de la estación Uspallata.

### 7.2.3. Análisis de la base de datos de la 3CNCC

Para determinar los posibles peligros climáticos y sus impactos relevantes para el área de actividades mineras se evalúa las tendencias del clima en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099). Para ello se considera el informe 'Los estudios de los cambios climáticos observados en el clima presente y proyectados a futuro en la República Argentina' realizado por el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) para la 'Tercera Comunicación de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático' (3CNCC; SAYDS, 2014).

#### 7.2.3.1. Base de datos 3CNCC

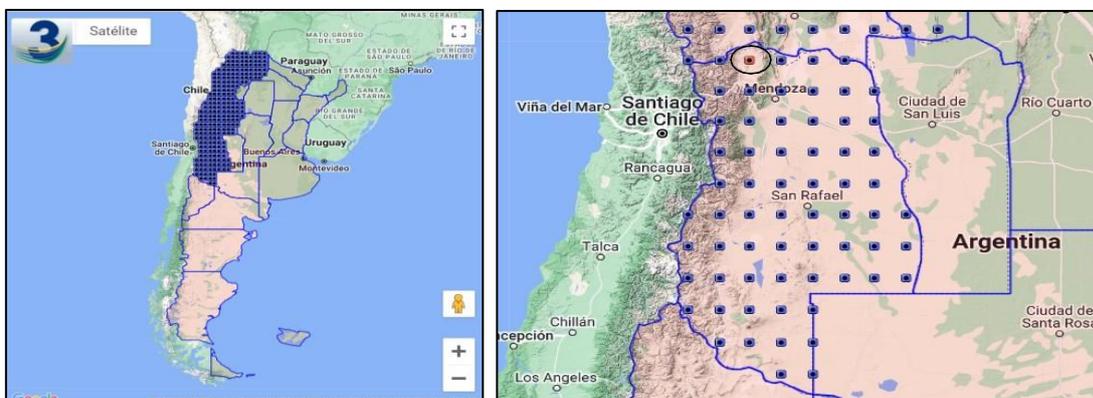
La base de datos climáticos de la 3CNCC es de acceso libre e incluye datos, observados y simulados por modelos climáticos sobre el territorio argentino, de diferentes variables climáticas, para el clima presente y futuro. Se encuentra disponible en la página web de la 3CNCC (<http://3cn.cima.fcen.uba.ar/>). Los datos se presentan considerando distintos horizontes temporales: pasado reciente (período 1960-2010); futuro cercano (período 2015-2039), que resulta de interés para las políticas de adaptación, y futuro lejano (período 2075-2099), de interés para conocer la posible situación en el largo plazo.

En el caso de los horizontes temporales futuro cercano y futuro lejano, para cada modelo se presentan los resultados considerando los escenarios de concentración de gases de efecto invernadero RCP4,5 y RCP8,5, y son los escenarios considerados en este estudio.

La información de la 3CNCC se presenta dividiendo el territorio argentino en 4 regiones (Húmeda, Andes, Patagonia, Centro), considerando la continuidad geográfica y cierta homogeneidad en sus características climáticas más relevantes; y presenta los resultados de varios modelos climáticos regionales y globales, realizando un análisis de validación de cada uno, indicando cual resulta más adecuado según la región del país que se estudie.

Los datos brindados por la 3CNCC se presentan en forma de grilla. Para el análisis de las tendencias a lo largo del tiempo que se muestran en este estudio, se obtuvieron los datos del pixel de la grilla correspondiente al área ocupada por el Proyecto San Jorge. Dada la resolución espacial de la grilla de los modelos, toda el área de operaciones se encuentra dentro de un mismo pixel. Es decir, los cambios que se presentan en este análisis son los proyectados para toda el área que ocupa PSJ. Por ello se optó por presentar los resultados como un gráfico de puntos con su respectiva línea de tendencia. Por la misma razón, dado que no se observan variaciones espaciales en las proyecciones dentro del área del PSJ, se optó por mostrar la provincia de Mendoza y, de esta manera, contextualizar los cambios proyectados a escala regional.

**Figura 7.1 Detalle de la visualización en la base de datos de la 3CNCC**



Fuente: [http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3c\\_mapa.php?G=1140](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3c_mapa.php?G=1140) de la grilla de datos para el modelo IPSL-CM5A-MR en general (izquierda) y en la provincia de Mendoza (derecha) . Pixel más cercano al área de estudio (círculo rojo).

El análisis de los cambios en los componentes climáticos, en la 3CNCC y el presente estudio, se centra en los valores medios de la temperatura de superficie (media, máxima y mínima), la precipitación, y de algunos índices de extremos climáticos.

Los índices de extremos climáticos relacionados con la temperatura y la precipitación han sido definidos por el conjunto CLIMDEX (<http://www.climdex.org/>) basado en las definiciones del *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) (Donat et al, 2013). Estos datos presentan una resolución espacial de 2,5 grados pero la base de datos de la 3CNCC presenta los valores interpolados a medio grado mediante el método interpolación lineal basada en triángulos.

Estos índices son ampliamente utilizados como herramienta para estudiar y monitorear cambios en extremos y para obtener resultados estándares coherentes de cambios en todo el mundo. Además, son robustos estadísticamente, pueden cubrir un amplio rango de climas y tienen una alta relación señal-ruido (Zhang et al., 2011). En el presente estudio, se presentan los resultados de algunos de dichos índices de acuerdo a la disponibilidad regional de datos y la relevancia del indicador para la región Patagónica. Los índices considerados en el presente estudio son:

- **FD:** Número de días con heladas, definido como el número anual de días en que la temperatura mínima diaria fue menor a 0°C.
- **TNn:** Valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima.
- **TX90p:** Porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90.
- **WSDI:** Duración de olas de calor, definido como el número de días con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supera el respectivo valor del percentil 90.
- **Rx1:** Precipitación diaria máxima del año.

Para elaborar el presente informe se utilizó la base de datos del modelo *IPSL-CM5A-MR* (Institut Pierre Simon Laplace, Francia). Tanto en el caso del horizonte temporal **pasado reciente**, que comprende el período 1960-2010, como de los horizontes temporales **futuro cercano** y **futuro lejano**, que comprenden los períodos 2015-2039 y 2075-2099, respectivamente.

El modelo fue seleccionado a partir del análisis de validación de los distintos modelos climáticos sobre el territorio argentino que se presenta en el Capítulo 3 de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (3CNCC). Los mismos representan aceptablemente el clima de la región Andina y, a partir de la base de datos de la 3CNCC, se obtienen los resultados para los escenarios RCP4,5 y RCP8,5, tanto para el futuro cercano como lejano.

El modelo *IPSL-CM5A-MR* ha sido desarrollado por el *Institut Pierre Simon Laplace*, Francia. Este modelo corresponde a la última versión del modelo IPSL y es un modelo global basado en el modelado físico del sistema atmósfera – tierra – océano - hielo marino, además incluye una representación del ciclo del carbono, la química estratosférica y la química troposférica con aerosoles.

Considerando un modo práctico de presentación de los resultados, en el presente estudio se considera que con estos dos escenarios (RCP4,5 y RCP8,5) es suficiente para comprender el riesgo posible frente al cambio climático en la región de estudio.

La resolución espacial de los resultados de los modelos climáticos brindados en la base de datos de la 3CNCC, que no muestran variaciones espaciales en las proyecciones dentro del área del PSJ, los mapas elaborados muestran los resultados para la provincia de Mendoza, permitiendo contextualizar los cambios proyectados a escala regional.

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se realizan mapas para las distintas proyecciones de variables climáticas consideradas. Estos mapas permiten observar los cambios climáticos significativos que ocurrirán en los sitios donde se realizan las distintas operaciones de la minera; y permiten evaluar si dicho cambio en la variable climática ocurrirá en el sitio donde se realiza una operación sensible a dicha variable.

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se elaboran mapas para el área de operación del PSJ para cada variable climática que se considere relevante.

## VII. Cambio Climático

### 8. Análisis de variabilidad climática presente y futura

En el presente apartado se realiza una descripción de las condiciones actuales del clima a partir de datos medidos en la estación meteorológica Uspallata (SMN) y, a partir de la base de datos de la 3CNCC, se estudia la variabilidad del clima en el pasado reciente (1960-2010) y las proyecciones climáticas para el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) en los escenarios RCP4,5 y RCP8,5.

#### 8.1. Condiciones actuales del clima local, variabilidad y tendencias en el pasado reciente (1960-2010)

A continuación, se analizan las temperaturas media, máxima y mínima, y precipitaciones tanto su comportamiento en los ciclos anuales como la variabilidad y las tendencias que experimenta en el pasado reciente (1970 y 2021).

##### 8.1.1. Análisis de la temperatura actual e histórica

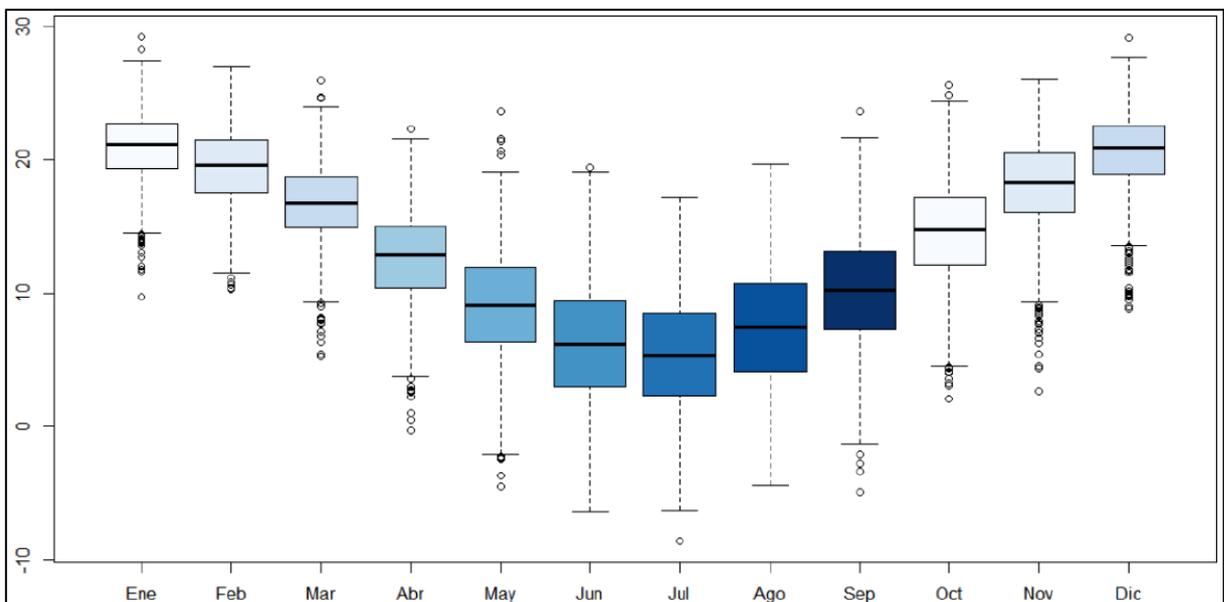
###### 8.1.1.1. Ciclo Anual de temperatura media, máxima y mínima

Los datos meteorológicos obtenidos en la estación meteorológica Uspallata (SMN) corresponden al período enero 1970 - octubre 2021.

Respecto a la temperatura, el valor máximo registrado en dicho período fue 37,8°C y se registró en diciembre de 1994, el valor mínimo se registró en junio de 1984 con -17,9°C, y la temperatura promedio para todo el periodo resultó en 11,96 °C.

Tal como se describe en el documento '*Estudio de Línea de Base Ambiental - Proyecto San Jorge (PSJ) Disciplina: Clima y Meteorología*' (GT Ingeniería S.A, mayo 2022), la temperatura muestra una marcada variación intra anual, con una disminución de temperaturas en el invierno y temperaturas máximas en verano, como es de esperar en climas áridos (Gráfica 8.1).

**Gráfica 8.1 Ciclo anual de la temperatura en la estación meteorológica Uspallata (SMN) para el período 1970-2021**



Fuente: GT Ingeniería, 2022, en base a información suministrada por SMN.

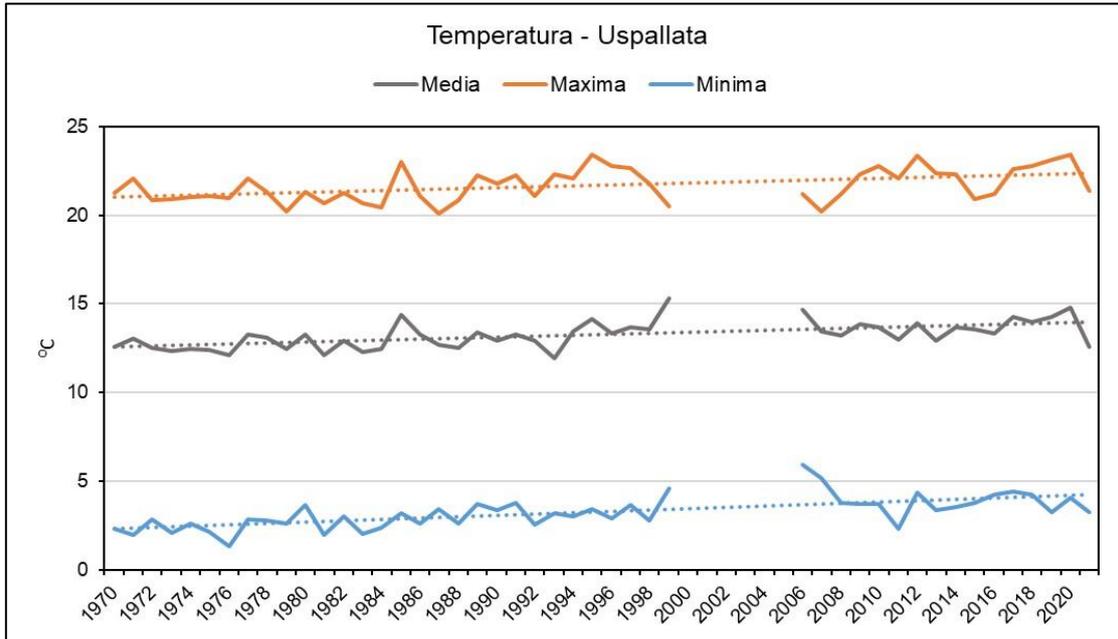
Referencia: Valores extremos máximos y mínimos indican máximas absolutas y mínimas absolutas respectivamente de los valores medios. Eje de las abscisas; meses, eje de las ordenadas; temperatura en grados Celsius.

### 8.1.1.2. Variabilidad y tendencias de la temperatura en el pasado reciente

En la Gráfica 8.2 se muestran las series de tiempo del promedio anual de la temperatura media, máxima y mínima, junto con la tendencia a largo plazo lineal resultante, obtenidas en la estación meteorológica Uspallata (SMN) en el período 1970-2021.

Las tres variables muestran una leve tendencia de incremento, aunque no resulta significativa considerando la variabilidad interanual.

#### **Gráfica 8.2 Series temporales de temperatura media, máxima y mínima promedio anual y sus tendencias lineales (línea punteada) en la estación meteorológica Uspallata (SMN) en el período 1970-2021**

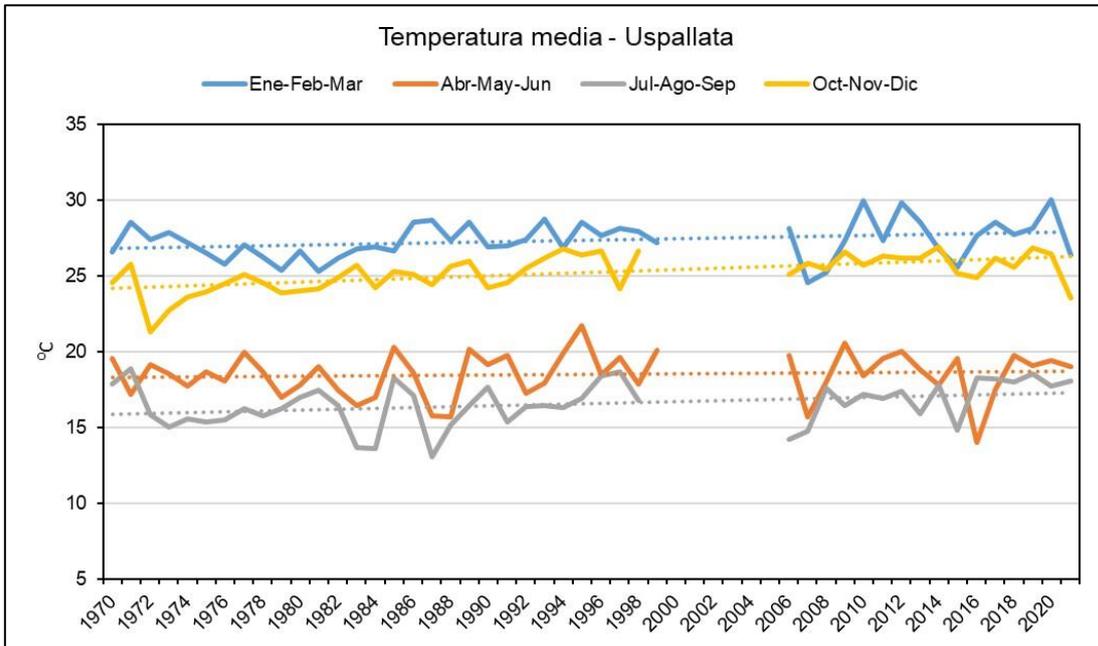


Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Al analizar los cambios de la temperatura media según la estación del año (Gráfica 8.3) se puede apreciar que la tendencia de incremento es relativamente más evidente en primavera (octubre, noviembre, diciembre) y en invierno (julio, agosto, septiembre) respecto del resto de las estaciones del año. Las pendientes de las tendencias lineales resultantes son: 4% en primavera, 2,8% en invierno, 2,1% en verano y 0,8 % en otoño.

Es interesante destacar que la diferencia temperatura máxima menos temperatura mínima se mantuvo sin cambio significativo a lo largo del período analizado, prácticamente sin cambio durante todas las estaciones del año.

**Gráfica 8.3 Series temporales de temperatura media según la estación del año (Ene-Feb-Mar ~ verano, Abr-May-Jun ~ otoño, Jul-Ago-Sep ~ invierno, Oct-Nov-Dic ~ primavera) según los registros de la estación meteorológica Uspallata (SMN) para el período 1970-2021**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

### 8.1.2. Análisis de la precipitación actual e histórica

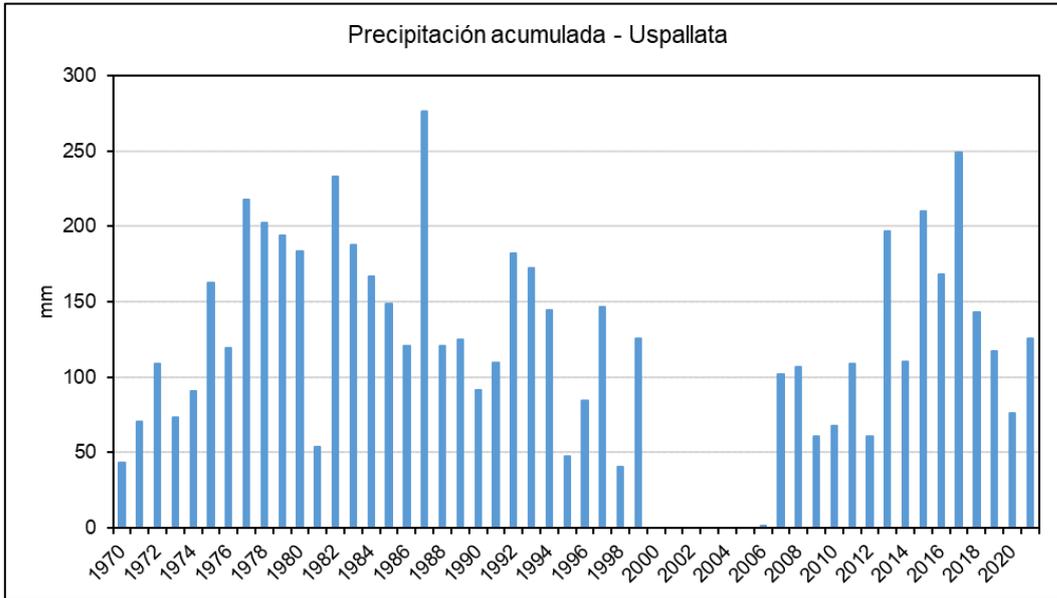
#### 8.1.2.1. Ciclo anual de precipitación

La precipitación acumulada anual en la estación meteorológica de Uspallata presenta un valor promedio de 114 mm, con un valor máximo en el año 1987 con 276 mm precipitados y un mínimo de 40,2 mm en 1998.

El mes con mayor registro de precipitación mensual es enero con 29,42 mm precipitados, mientras que la mínima media mensual registrada se presenta en el mes de septiembre con un valor de 2,11 mm.

La precipitación acumulada presenta una importante variabilidad inter-anual (Gráfica 8.4).

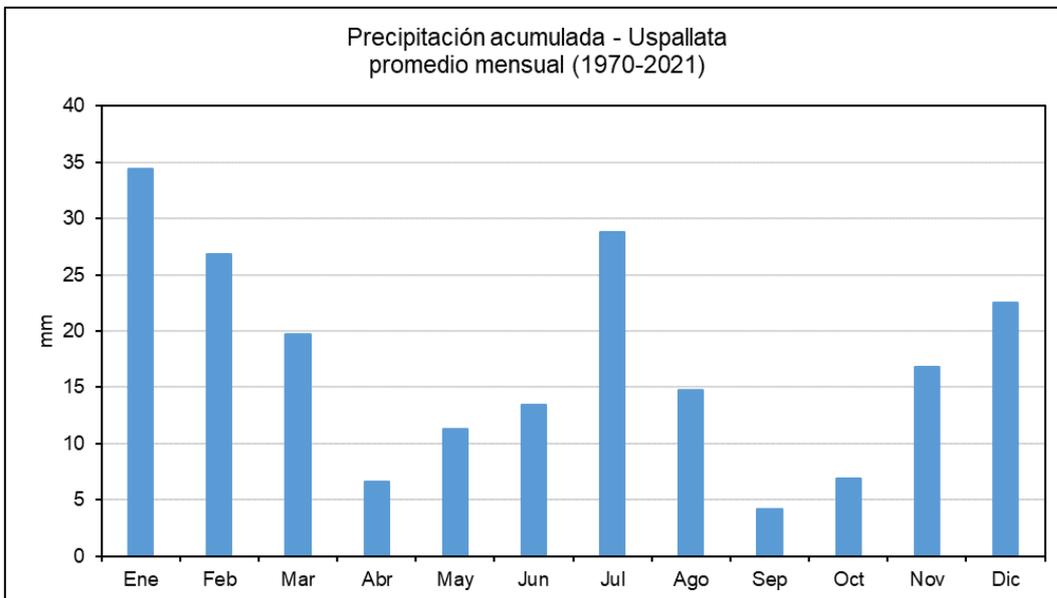
**Gráfica 8.4 Precipitación anual acumulada en la estación meteorológica Uspallata (SMN) en el período 1970-2021**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

En la Gráfica 8.5 se muestran los valores promedio mensuales de precipitación acumulada. Se observa una importante variabilidad intra-anual con valores más bajos en los meses de abril, septiembre y octubre, con valores promedio de 6,6; 4,2 y 6,9 mm respectivamente; y valores más altos en enero, febrero y julio (34,4; 26,9 y 28,8 respectivamente).

**Gráfica 8.5 Ciclo anual de la precipitación acumulada en PSJ a partir de datos meteorológicos obtenidos EMA-BN (jul 2008-jun 2019) y EMA-TSF (nov 2016-jun 2019)**

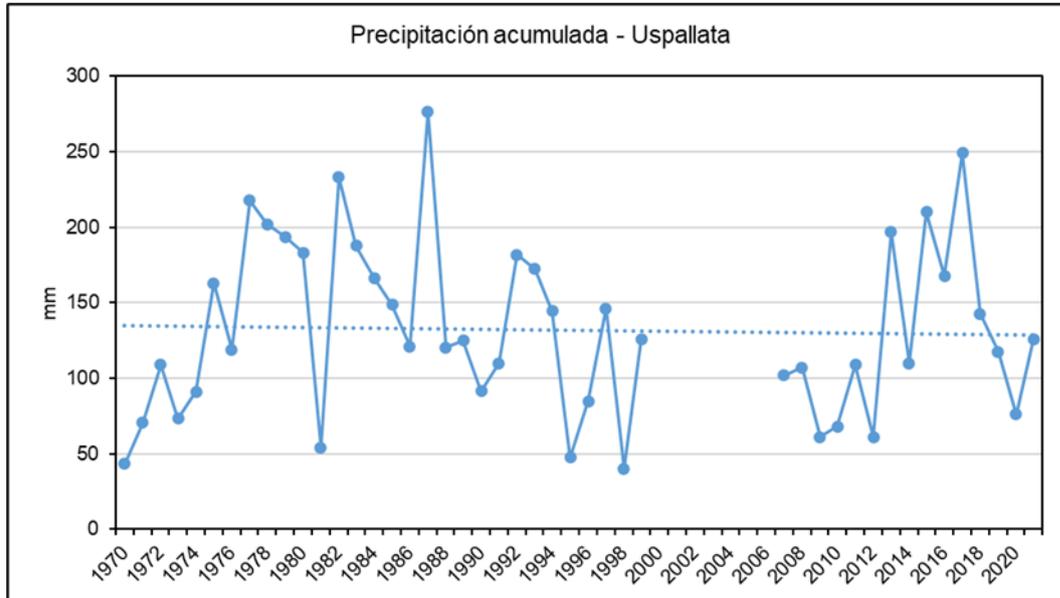


Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

### 8.1.2.2. Variabilidad y tendencias de la precipitación en el pasado reciente

La variabilidad interanual de la precipitación acumulada en el año para el período 1970-2021 en la estación meteorológica Uspallata se muestra junto con su tendencia lineal en Gráfica 8.6. Se observa una un relativo descenso de la precipitación anual acumulada, aunque con una pendiente no muy significativa (1,2%).

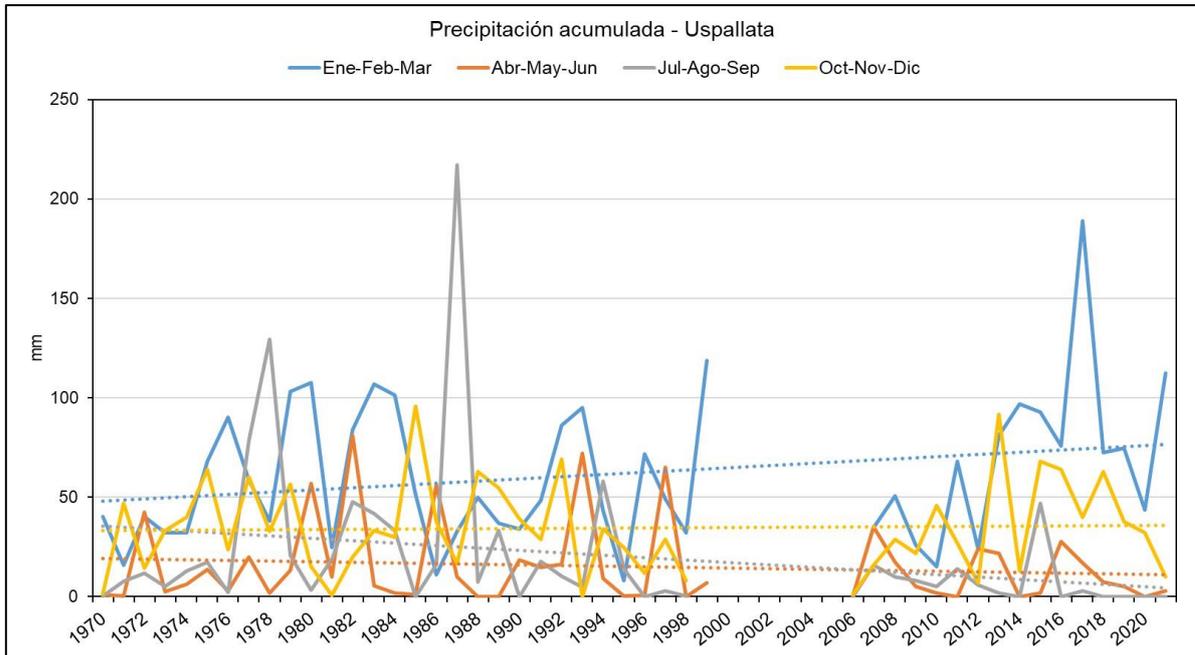
**Gráfica 8.6 Serie temporal de precipitación acumulada anual en PSJ en el período 1960-2010 y su tendencia lineal (línea punteada)**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

El comportamiento anual acumulado de la precipitación según la estación del año a lo largo del período 1970-2021 se puede observar en la Gráfica 8.7. Esta figura permite apreciar que la tendencia varía de acuerdo a qué época del año se trate. En primavera (octubre, noviembre y diciembre) y verano (enero, febrero, y marzo), la tendencia lineal presenta una pendiente positiva cercana al 5% en ambos períodos, mientras que en otoño (abril, mayo y junio) e invierno (julio, agosto y septiembre) la tendencia presenta una pendiente negativa de -1,6 y -0,5 respectivamente.

**Gráfica 8.7 Serie temporal de precipitación acumulada según estación del año (Ene-Feb-Mar ~ verano, Abr-May-Jun ~ otoño, Jul-Ago-Sep ~ invierno, Oct-Nov-Dic ~ primavera) en el área operativa de PSJ en el período 1960-2010 y sus tendencias lineales (línea punteada)**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022 a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

## 8.2. Variabilidad y tendencias climáticas en el futuro

A partir del análisis de validación de los distintos modelos climáticos sobre el territorio argentino que se presenta en el Capítulo 3 de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (3CNCC), se seleccionó el modelo *IPSL-CM5A-MR* para presentar en este estudio el análisis de las proyecciones climáticas en el futuro cercano y lejano. Estos modelos representan aceptablemente el clima de la región y, a partir de la base de datos de la 3CNCC, se obtienen los resultados para los escenarios RCP4,5 y RCP8,5, tanto para el futuro cercano como lejano (ver ítem 4.2.3.1. Base de datos -3CNCC).

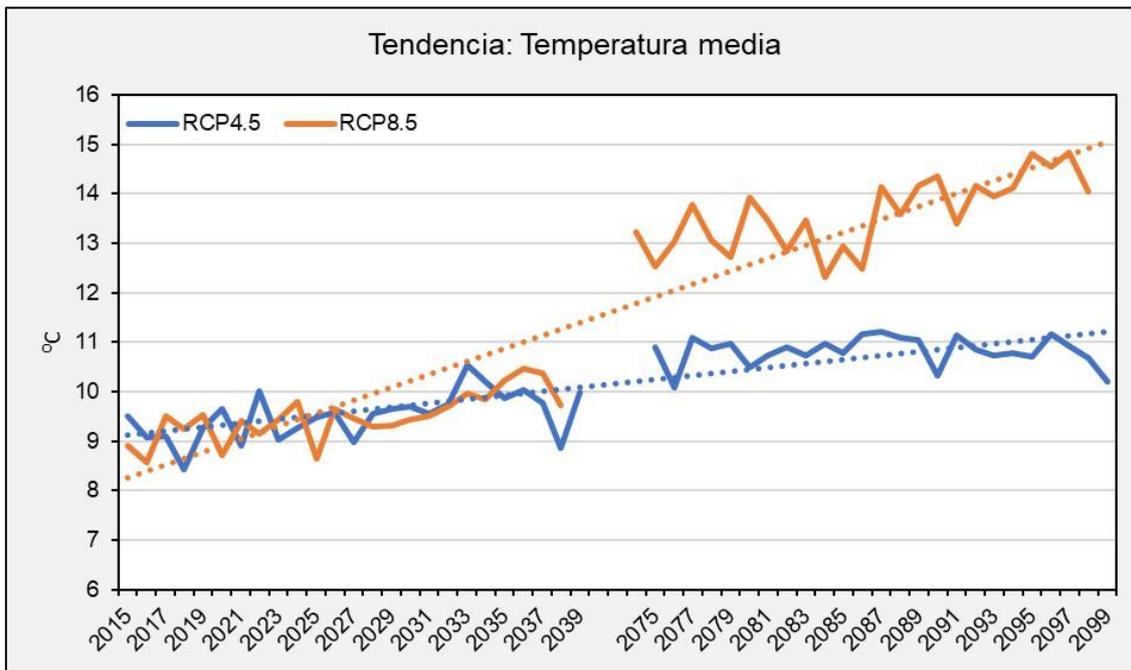
### 8.2.1. Temperatura

Las proyecciones de temperatura media muestran un incremento de 0,6 °C para el escenario de emisiones intermedias y de 1,1 °C para el escenario de emisiones altas en el futuro cercano (período 2015-2039, Gráfica 8.8).

La variabilidad de la tendencia para ambos escenarios de emisión en el futuro cercano es similar (período 2015-2039). Por el contrario, para el futuro lejano (período 2075-2099) las simulaciones muestran mayores diferencias entre un escenario de emisiones intermedias y uno de emisiones altas (Gráfica 8.8).

En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5) se espera un incremento mayor de la temperatura media para el período 2015-2039, mientras que en el período 2075-2099 este cambio presentaría una menor pendiente sin incrementos significativos. En cambio, el escenario de emisiones altas (RCP8,5) presenta una pendiente pronunciada en ambos períodos y se espera en el futuro lejano un incremento, de 1,3°C, relativamente mayor del esperado para el futuro cercano.

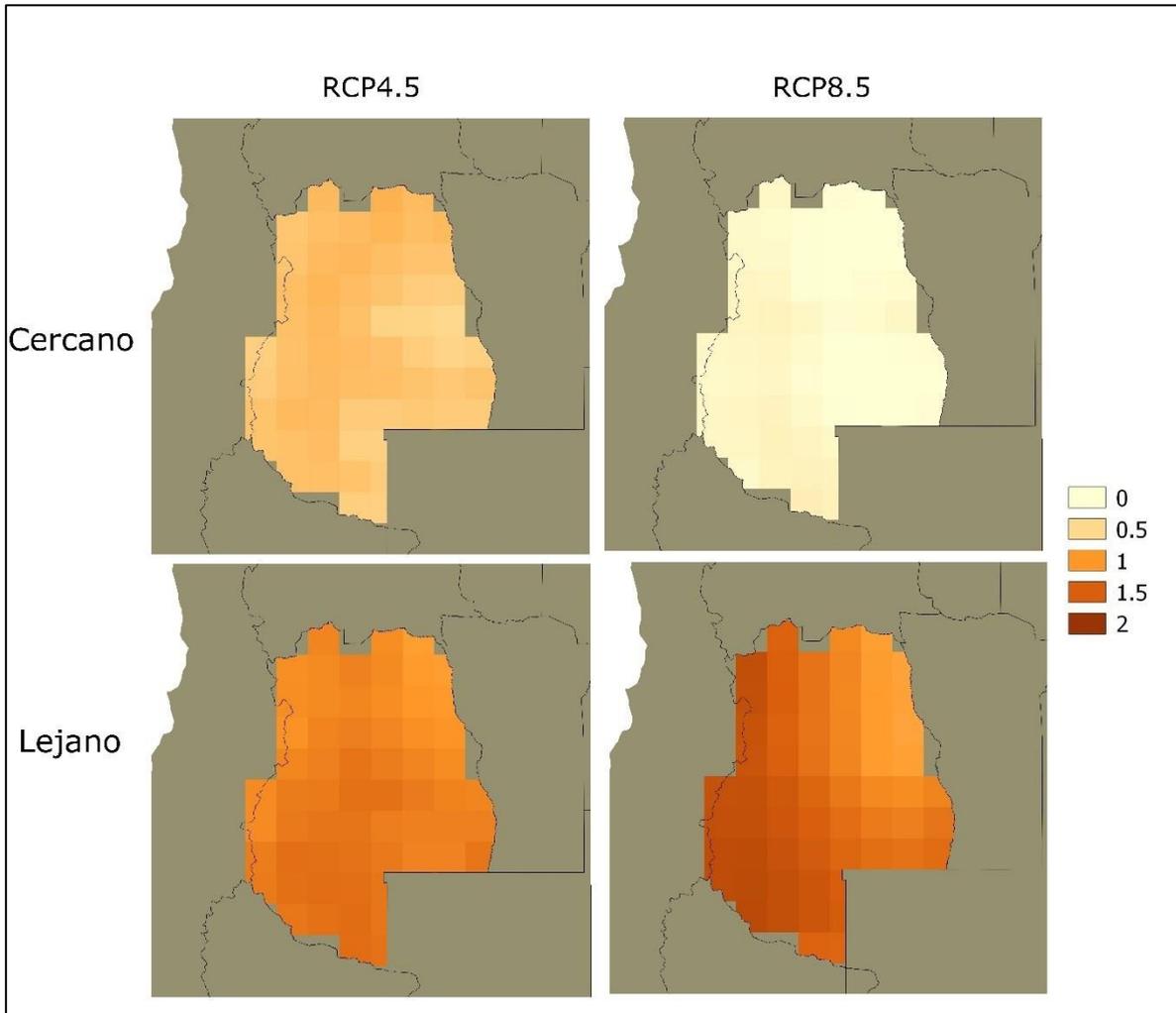
**Gráfica 8.8 Simulaciones de temperatura media anual en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4.5 y RCP 8.5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

En la Figura 8.1 se muestra la variabilidad espacial que presentarán los cambios de temperatura media en la provincia de Mendoza.

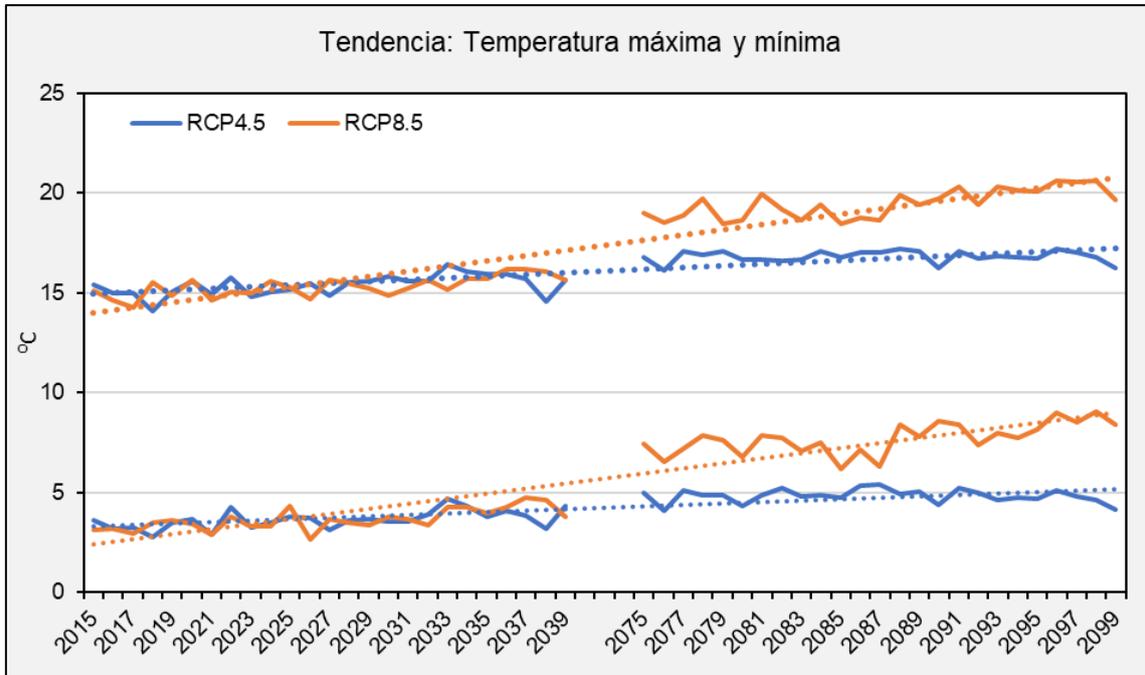
**Figura 8.1 Cambio en la temperatura media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

La Gráfica 8.9 presenta los cambios medios esperados según los escenarios RCP4,5 y RCP8,5 para el futuro cercano y lejano de la temperatura máxima y mínima media anual. Como es de esperar, puede observarse una tendencia similar a la de la temperatura media de estas variables.

**Gráfica 8.9 Simulaciones de temperatura máxima y mínima media anual en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

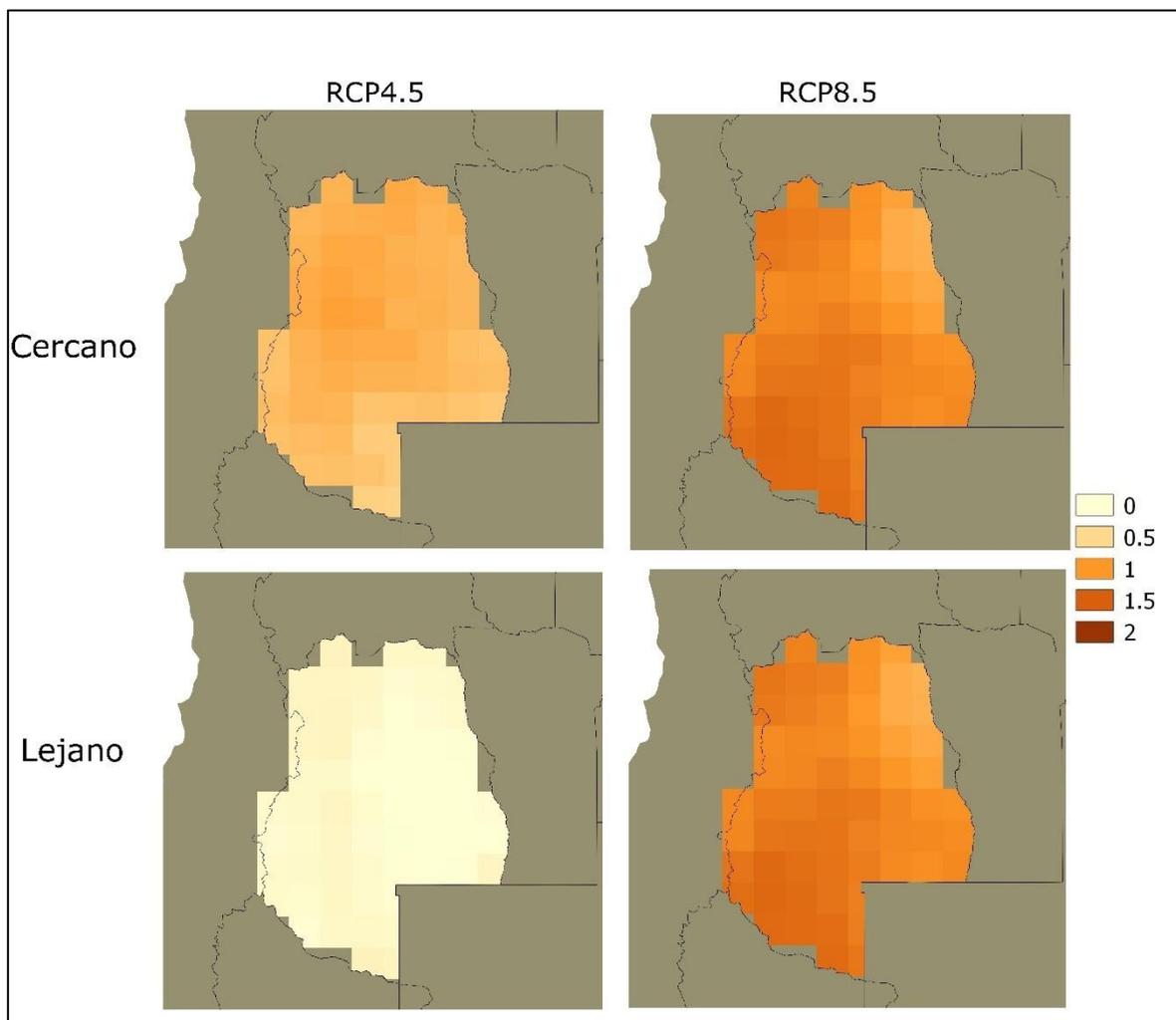
En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5), se espera un incremento de aproximadamente 0,6 °C tanto en la temperatura máxima como en la temperatura mínima para el futuro cercano (2015-2039).

Al igual que en la temperatura media, en el escenario de emisiones altas (RCP8,5) se espera un incremento sostenido en ambos períodos, de aproximadamente 1 °C en el futuro cercano y de 1,3 °C para el futuro lejano tanto en la temperatura máxima como mínima.

Las Figuras 8.2 y 8.3 muestran la variabilidad espacial que presentarán los cambios de temperatura máxima y mínima, respectivamente, en la provincia de Mendoza.

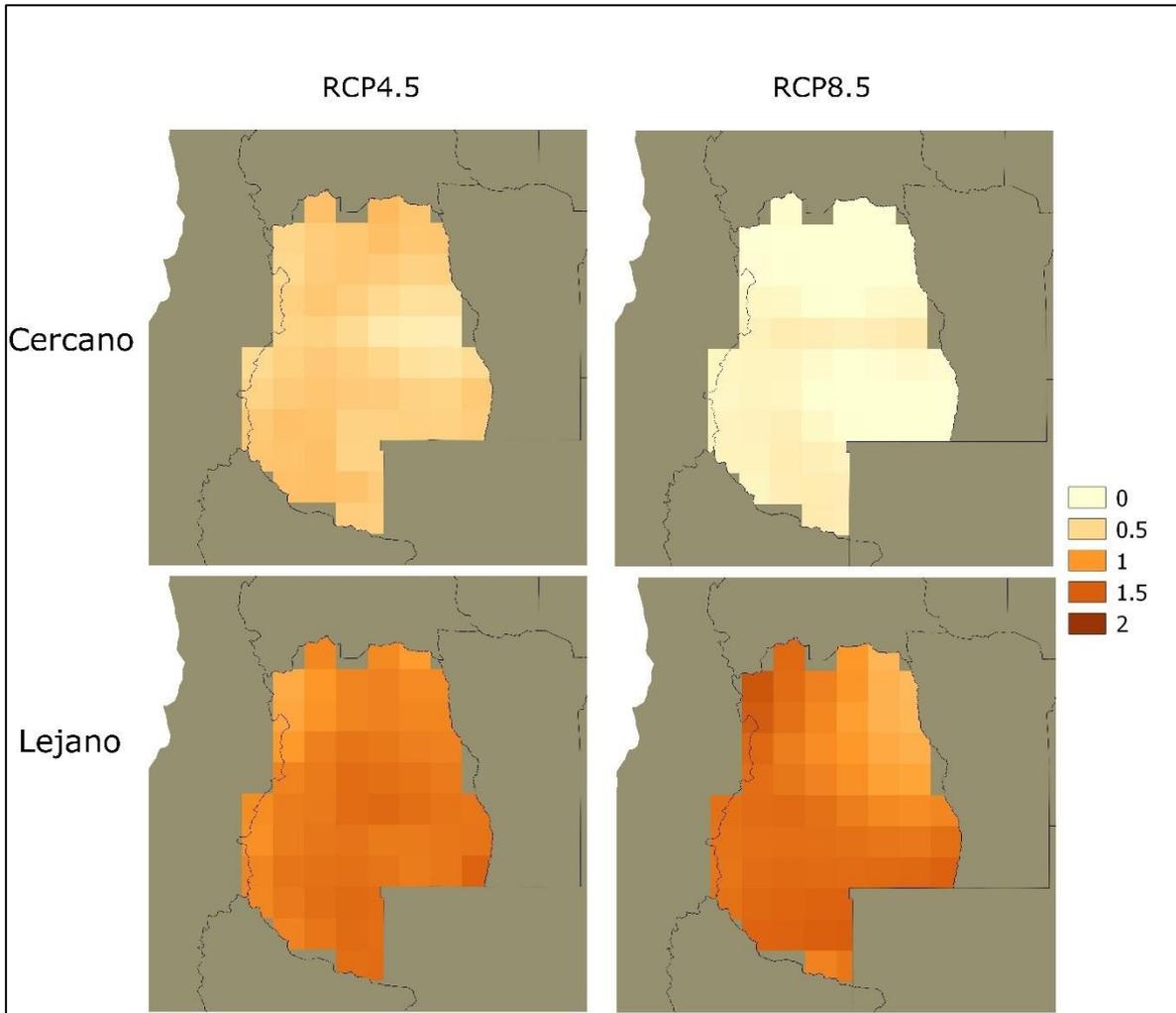
Estos resultados sugieren que, en este escenario de cambio más desfavorable, la temperatura anual en PSJ se incrementaría de manera significativa durante el siglo XXI.

**Figura 8.2 Cambio en la temperatura máxima media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

**Figura 8.3 Cambio en la temperatura mínima media anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR**



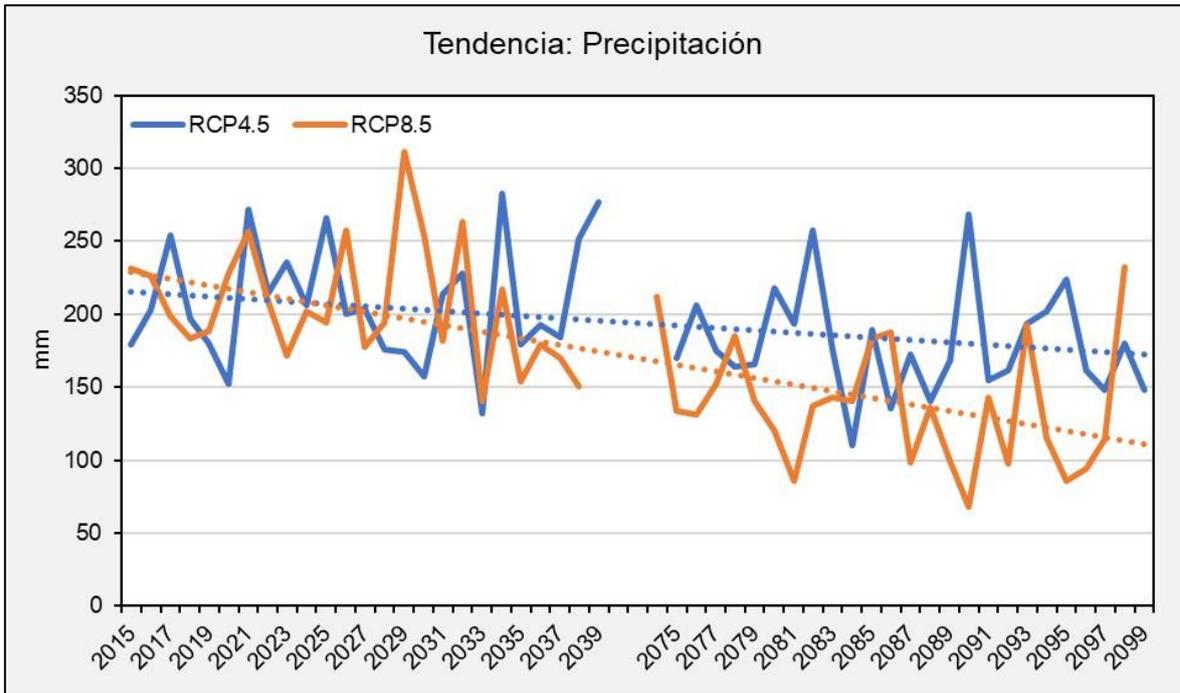
Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

### 8.2.2. Precipitación

La Gráfica 8.10 presenta las series temporales de precipitación acumulada anual simulada por el modelo IPSL-CM5A-MR en el área de PSJ para el futuro cercano y lejano considerando los escenarios de emisión RCP4,5 y RCP8,5. Se observa que, a diferencia de la temperatura, la tendencia en este caso es negativa.

En un escenario de emisiones intermedias el modelo no muestra una tendencia evidente para el futuro cercano (2015-2039), pero si una leve tendencia negativa hacia el futuro lejano (2075-2099). Sin embargo, en un escenario de emisiones altas, se espera un descenso relativamente significativo de la precipitación acumulada anual tanto para el futuro cercano (38,1 mm) como para el futuro lejano (34,8 mm).

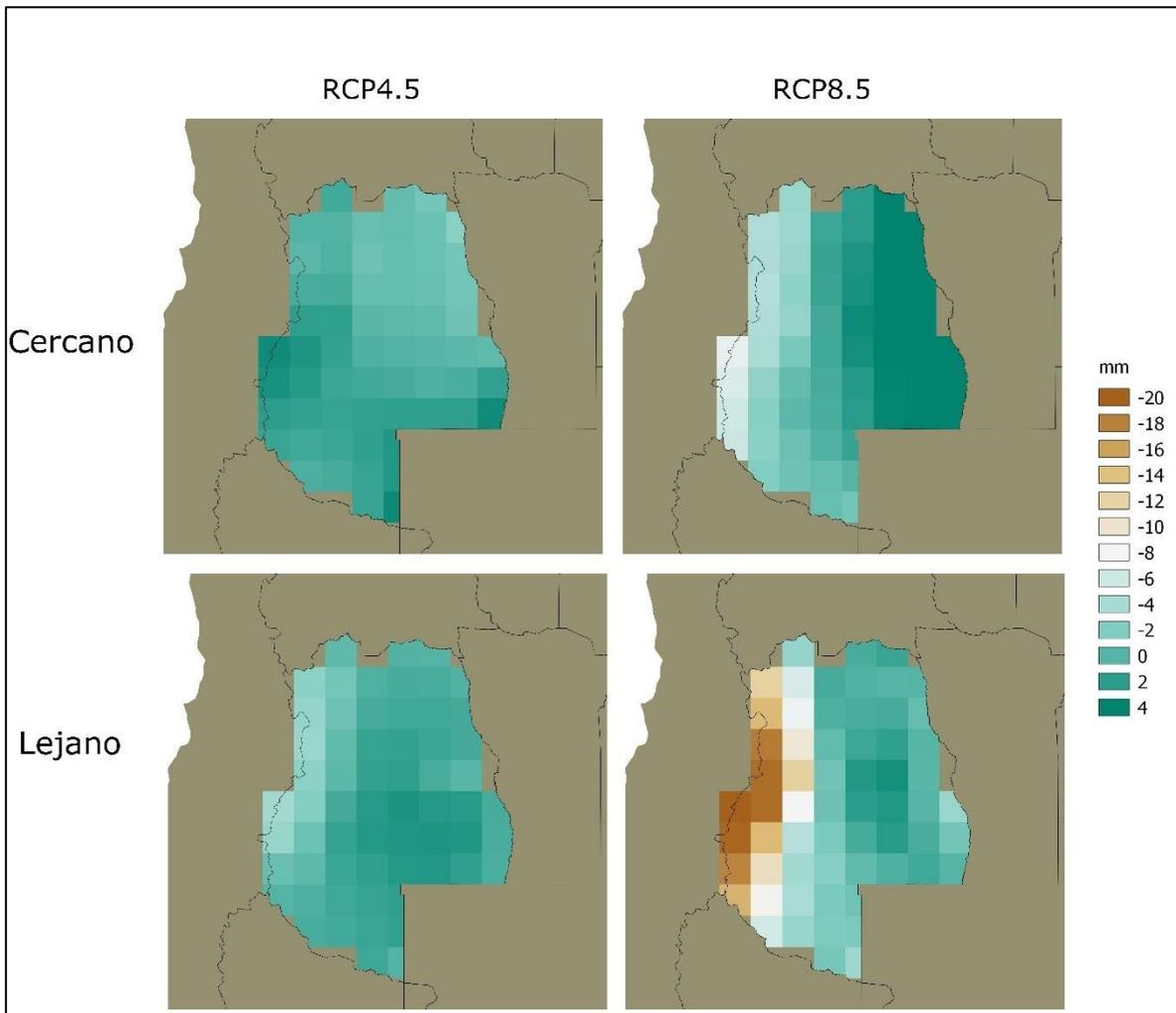
**Gráfica 8.10 Cambio en la precipitación acumulada anual con respecto al periodo 1986-2005. Resultados del modelo IPSL-CM5A-MR para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en el futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099)**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

En la Figura 8.4 se puede observar la variabilidad espacial que presentarán los cambios de precipitación para cada escenario y período considerado en la provincia de Mendoza.

**Figura 8.4 Cambio en la precipitación acumulada anual (5 primeros años de cada período respecto a los últimos 5 años del mismo período) para la provincia de Mendoza. Futuro cercano: 2015-2039, Futuro Lejano: 2039-2099. Modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

### 8.2.3. Extremos climáticos

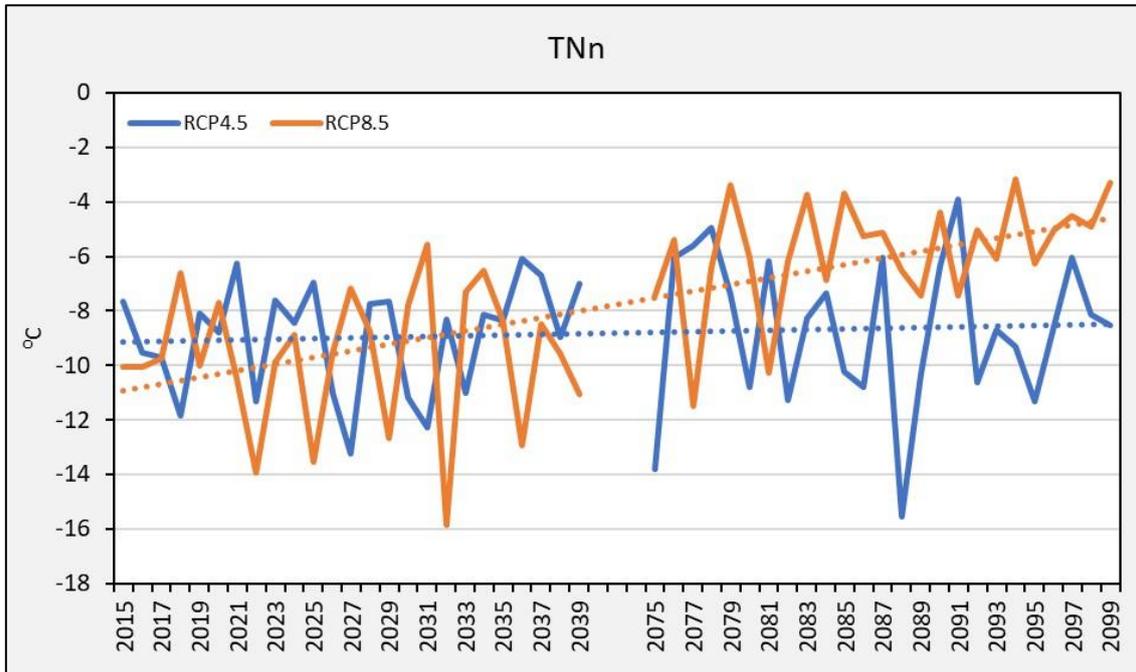
Los extremos climáticos de temperatura muestran una tendencia hacia condiciones más cálidas.

Según los resultados obtenidos con el modelo climático IPSL-CM5A-MR, el valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima (indicador T<sub>N</sub>, Gráfica 8.11) no presentaría cambios significativos en el futuro cercano bajo ninguno de los escenarios de emisiones considerados, pero si se espera un significativo incremento, de más de 2 °C, en el escenario de emisiones altas (RCP8,5) en el futuro lejano. En el escenario de emisiones intermedias no se observa una clara tendencia para el futuro lejano.

El número de días con helada (indicador FD, Gráfica 8.12) presentaría un descenso similar en ambos escenarios de emisión en el futuro cercano. En el futuro lejano, la tendencia negativa se sostiene, pero es más pronunciada para el escenario RCP8,5 de emisiones altas respecto del de emisiones intermedias RCP4,5.

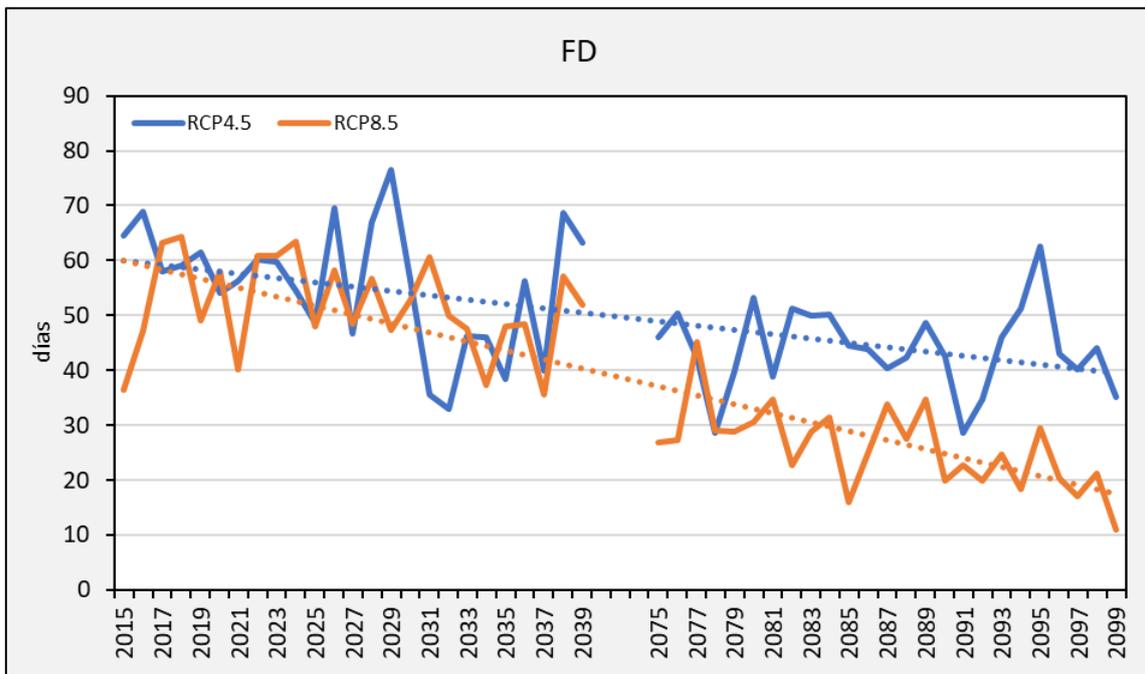
Estos resultados son consistentes con el incremento de la temperatura mínima esperado para dichos períodos.

**Gráfica 8.11 Simulación del valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

**Gráfica 8.12 Simulación del número de días con helada en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Modelo IPSL-CM5A-MR**

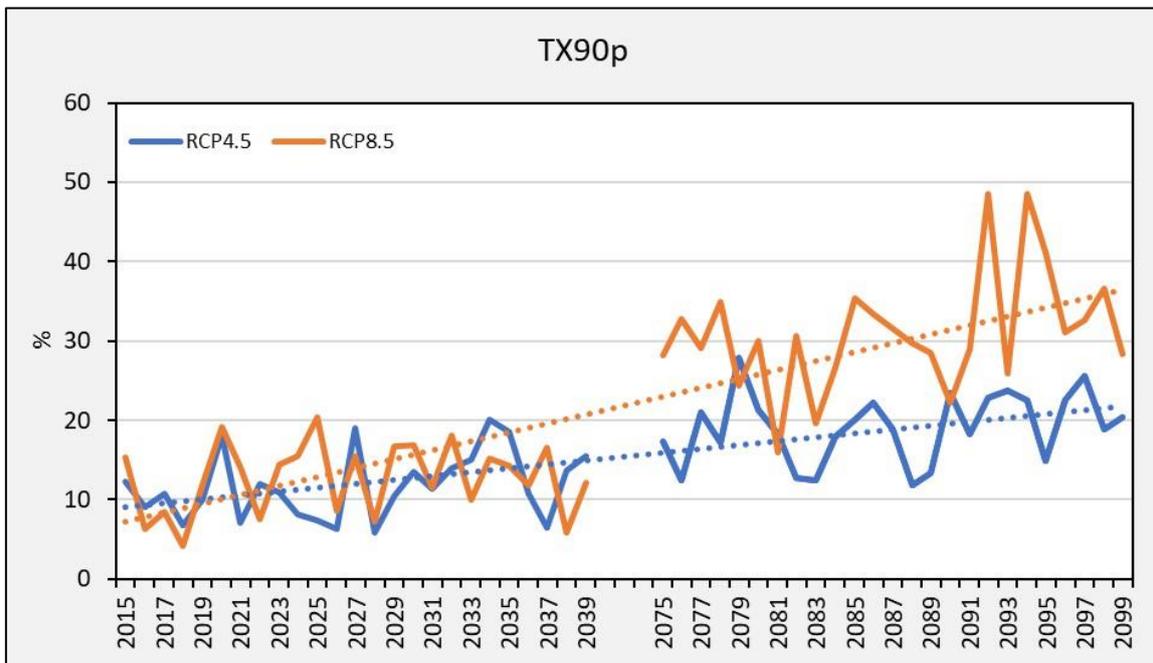


Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

De la misma manera, los indicadores TX90p y WSDI que indican el porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90 y la duración de las olas de calor, respectivamente, son consistentes con el incremento de temperatura máxima proyectado por los modelos climáticos.

Tal como puede observarse en la Gráfica 8.13, el porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90 no presenta una tendencia marcada en el futuro cercano. Sin embargo, en el futuro lejano, ambos escenarios de emisión muestran una tendencia de incremento de este indicador. El escenario de emisiones intermedias presentaría un incremento más moderado durante el futuro lejano.

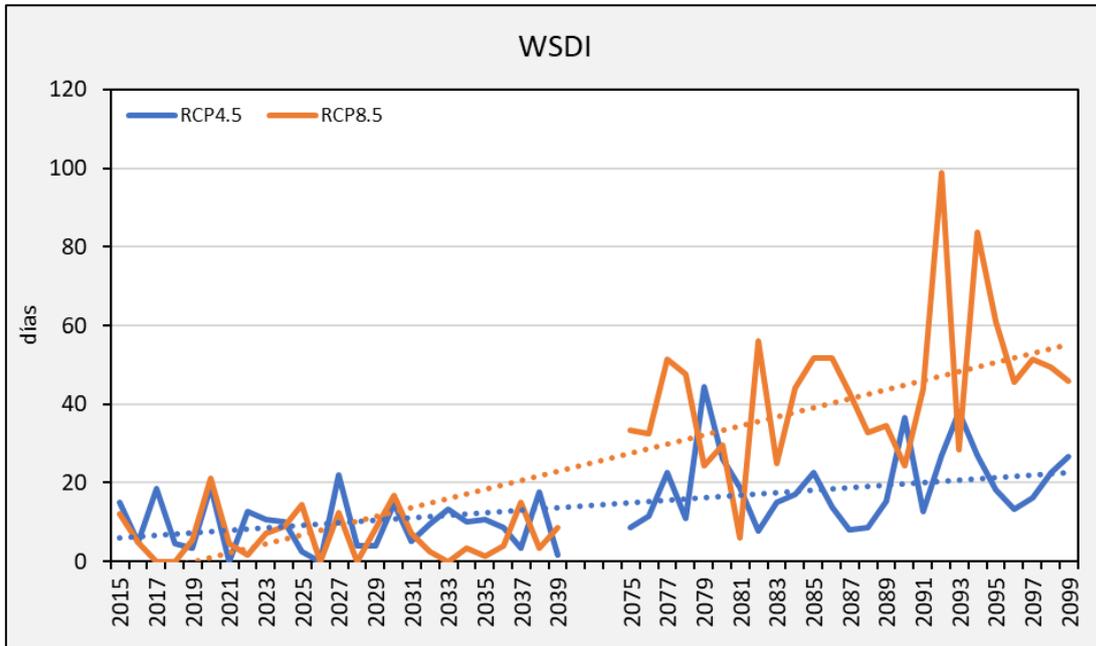
**Gráfica 8.13 Simulación del porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90 en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

Las tendencias para la duración de las olas de calor, es decir, el número de días con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supera el respectivo valor del percentil 90, muestran una mayor variabilidad (Gráfica 8.14) y tampoco se observa una tendencia clara en el futuro cercano. En el futuro lejano el escenario de emisiones altas presenta una tendencia de incremento más evidente respecto del escenario de emisiones intermedias.

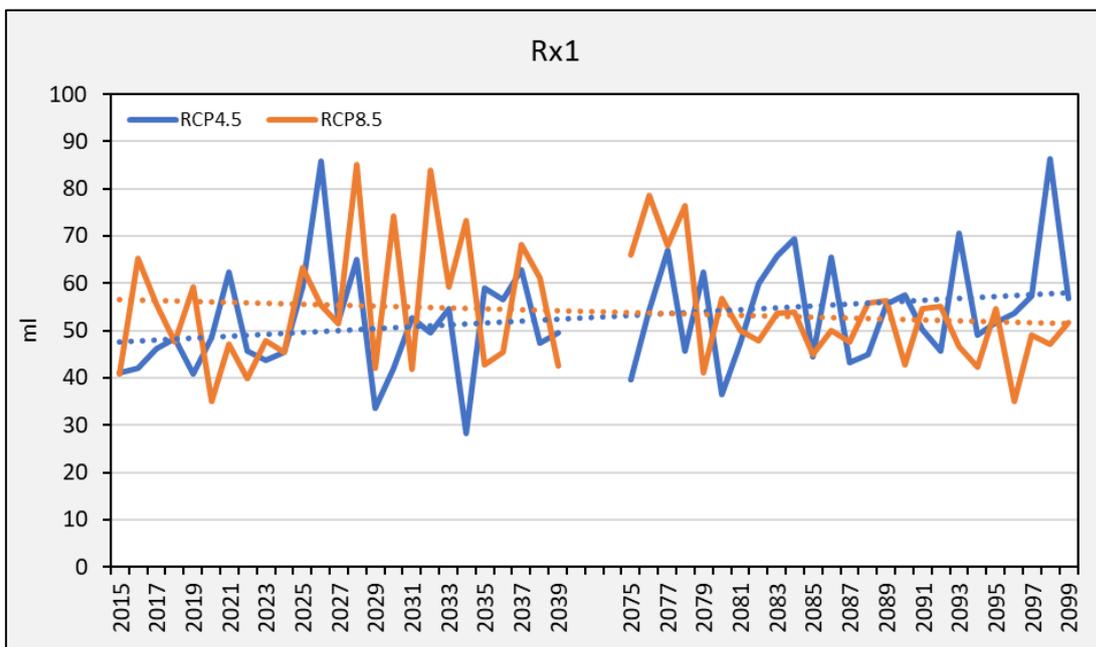
**Gráfica 8.14 Simulación de la duración de las olas de calor en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR.**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

Por otro lado, respecto de la precipitación el modelo no muestra una gran variabilidad interanual en la precipitación diaria máxima anual (Gráfica 8.15). Ninguno de los escenarios de emisiones considerados muestra una tendencia evidente en el futuro cercano. Hacia finales del período de futuro lejano se puede observar una disminución de este indicador.

**Gráfica 8.15 Simulación de la precipitación diaria máxima del año en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) para los escenarios RCP4,5 y RCP 8,5 en PSJ. Promedio del modelo IPSL-CM5A-MR**



Fuente: GT Ingeniería SA, 2022. A partir de los datos del modelo Modelo IPSL-CM5A-MR obtenidos de la 3CNCC.

### 8.3. Conclusiones

En el presente documento se analiza el clima local en el área de operaciones PSJ en la provincia de Mendoza (Argentina), con foco en las variables temperatura y precipitación (e indicadores de extremos climáticos) considerando su importancia en el contexto de cambio climático.

Se estudió el cambio climático observado y las tendencias en la precipitación y la temperatura en el futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) en dos de los posibles escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero establecidos por el IPCC: de emisiones intermedias (RCP4,5) y de emisiones altas (RCP8,5). Los resultados de este estudio muestran que la *temperatura media anual* muestra en el pasado reciente una incipiente tendencia de incremento, aunque no significativa, dada la variación interanual. Al analizar los cambios de la temperatura media según la estación del año se observó una tendencia de incremento más evidente en primavera (octubre, noviembre, diciembre) y en invierno (julio, agosto, septiembre) respecto del resto de las estaciones del año.

En cuanto a la *precipitación acumulada anual*, muestra una incipiente tendencia negativa, aunque no muy significativa. Al igual que en la temperatura, se observó que la tendencia de la precipitación acumulada varió según la estación del año a lo largo del período 1970-2021. En primavera (octubre, noviembre y diciembre) y verano (enero, febrero, y marzo), la tendencia lineal presenta una pendiente positiva cercana al 5% en ambos períodos, mientras que en otoño (abril, mayo y junio) e invierno (julio, agosto y septiembre) la tendencia presenta una pendiente negativa de -1,6% y -0,5% respectivamente.

Para la estimación de los escenarios futuros de cambio climático local y regional, se seleccionó el modelo climático IPSL-CM5A-MR que representa de manera adecuada los procesos relevantes que afectan a la región de interés y, por ende, otorgan mayor robustez a las proyecciones futuras. Las proyecciones de dicho modelo muestran un incremento de 0,6 °C para el escenario de emisiones intermedias y de 1,1 °C para el escenario de emisiones altas en el futuro cercano (período 2015-2039) en el área de PSJ. En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5) se espera un incremento mayor de la temperatura media para el período 2015-2039, mientras que en el período 2075-2099 este cambio presentaría una menor pendiente sin incrementos significativos. En cambio, el escenario de emisiones altas (RCP8,5) presenta una pendiente pronunciada en ambos períodos y se espera en el futuro lejano un incremento, de 1,3 °C, relativamente mayor del esperado para el futuro cercano.

Tanto la *temperatura mínima como la máxima* muestran tendencias similares a la descrita para la temperatura media, con incrementos similares para ambos escenarios de emisiones (RCP4,5 y RCP8,5) en el futuro cercano pero una marcada diferencia entre ambos escenarios para el futuro lejano. En el escenario de emisiones intermedias (RCP4,5), se espera un incremento de aproximadamente 0,6 °C tanto en la temperatura máxima como en la temperatura mínima para el futuro cercano (2015-2039). Al igual que en la temperatura media, en el escenario de emisiones altas (RCP8,5) se espera un incremento sostenido en ambos períodos, de aproximadamente 1 °C en el futuro cercano y de 1,3 °C para el futuro lejano tanto en la temperatura máxima como mínima.

En cuanto a la *precipitación futura esperada*, las simulaciones del modelo muestran que, en el futuro cercano, los dos escenarios considerados presentan una gran variabilidad interanual. En un escenario de emisiones intermedias el modelo no muestra una tendencia evidente para el futuro cercano (2015-2039), pero si una leve tendencia negativa hacia el futuro lejano (2075-2099). En el caso del escenario de emisiones altas, se espera un descenso relativamente significativo de la precipitación acumulada anual tanto para el futuro cercano (38,1 mm) como para el futuro lejano (34,8 mm).

Los *extremos climáticos de temperatura* muestran una tendencia hacia condiciones más cálidas, principalmente en el futuro lejano, en los dos escenarios de emisiones considerados es este estudio. Se espera un incremento de la duración de las olas de calor y del porcentaje anual de días con temperatura máxima mayor al percentil 90. Además, se espera un incremento en el valor anual mínimo de la temperatura diaria mínima y una disminución en el número de días con helada. Estos resultados muestran una tendencia posiblemente irreversible de calentamiento para las próximas décadas, aunque marcando una clara diferencia para los potenciales cambios en los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.

Respecto al indicador que considera la precipitación diaria máxima del año, muestra una disminución poco marcada a lo largo de los períodos considerados, consistente con la disminución poco marcada de la precipitación acumulada anual.

A pesar de que el descenso de la precipitación no parece ser muy importante en el futuro en el área de PSJ, en combinación con el incremento de la temperatura proyectado y el posible incremento en la evaporación, es de esperar una disminución relativa del agua disponible en la región.

## VIII. Bibliografía

---

Arent, D.J., Tol, R.S.J., Faust, E., Hella, J.P., Kumar, S., Strzepek, K.M., Yan, D., et al., 2014. Key economic sectors and services. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 659–708. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415379.015>.

Baethgen W., 2012. Información climática para mejorar la adaptación a la variabilidad y cambio del clima. *CLIVAR Exchanges*, 59, 16- 20.

Donat, M. G., L. V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose, R. J. H. Dunn, K. M. Willett, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A. M. G. Klein Tank, A. C. Kruger, J. Marengo, T. C. Peterson, M. Renom, C. Oria Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, A. S. Elayah, S. S. Sekele, A. K. Srivastava, B. Trewin, C. Villarroya, L. A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang y S. Kitching, 2013: Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2, *J. Geophys. Res.* **118**, 2098–2118.

Ford, J.D., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Berrang Ford, L., Beaumier, M., Smith, T., 2010. Perceptions of climate change risks in primary resource use industries: a survey of the Canadian mining sector. *Reg. Environ. Change* 10 (1), 65–81. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-009-0094-8>.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Jones, P.D.; Harris, I.C. (2013): CRU TS3.20: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.20 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901 - Dec. 2011). NCAS British Atmospheric Data Centre. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/2949a8a25b375c9e323c53f6b6cb2a3a>

Moss, R., et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.

Pearce, T.D., Ford, J.D., Prno, J., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M., Smit, B., 2011. Climate change and mining in Canada. *Mitig. Adapt. Strateg. Global Change* 16 (3), 347–368. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-010-9269-3>.

SAyDS - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. “Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones” (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Buenos Aires, Argentina.

Zhang, X., Alexander, L.V., Hegerl, G.C., Klein-Tank, A., Peterson, T.C., Trewin, B., Zwiers, F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2, 851–870 <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.147>



**Gobierno de la Provincia de Mendoza**  
República Argentina

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Anexo**

**Número:**

Mendoza,

**Referencia:** Presentación parte 8 EX-2025-00278264- -GDEMZA-MINERIA

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 39 pagina/s.