

# IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA

Freddy Flórez<sup>1</sup>, Sebastián Rayo<sup>2</sup> y Raúl López<sup>3</sup>

<sup>1</sup>: Dr.techn. MSc, Consultor Integral, JRI Ingeniería, Chile

<sup>2</sup>: MSc MBA, Gerente Unidad de Negocios Pipelines, JRI Ingeniería, Chile

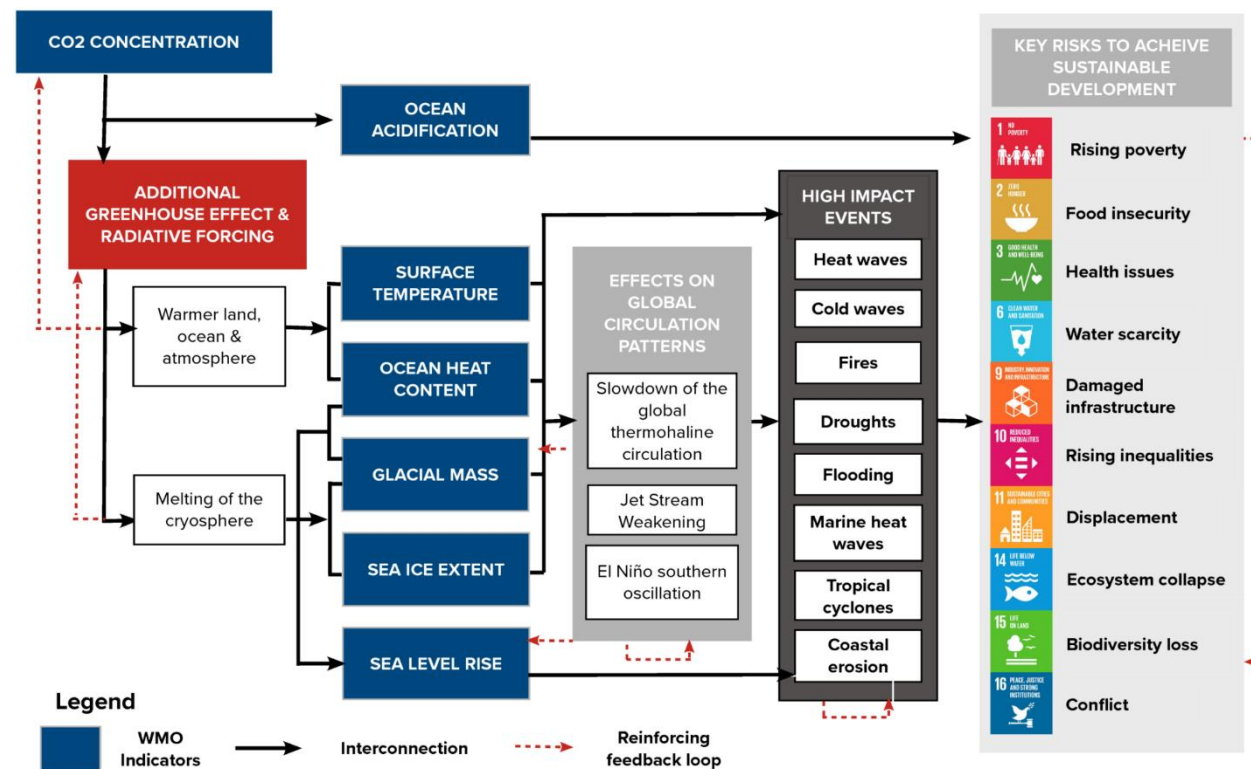
<sup>3</sup>: Jefe del Área de Hidráulica, JRI Ingeniería, Chile



# INTRODUCCIÓN (1/3)

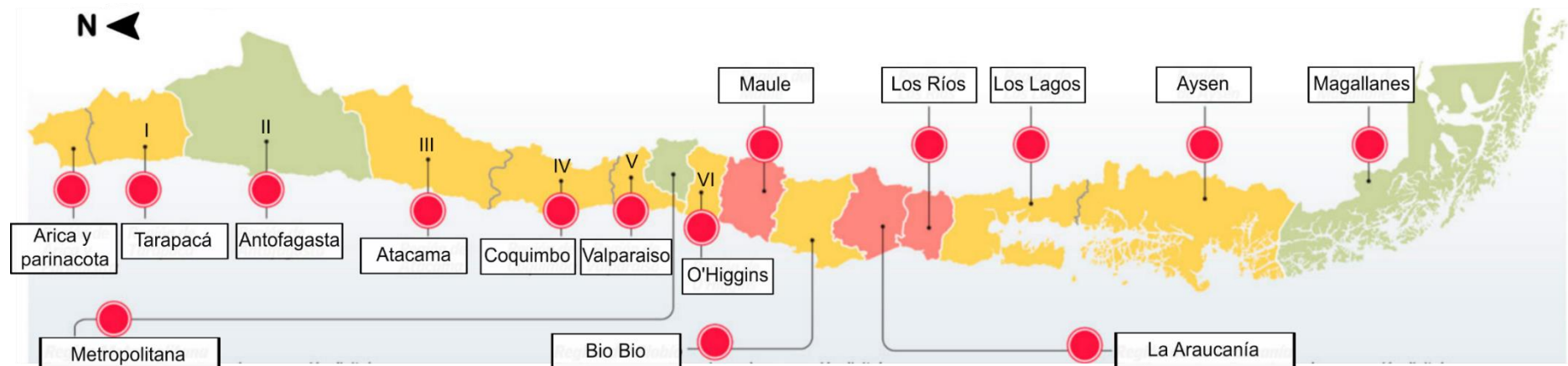
- WMO<sup>1</sup> señala que los últimos años van camino de ser los más cálidos de los que se tienen registros, debido al incremento de las emisiones globales de los gases de efecto invernadero y el calor acumulado. Por consiguiente, desde enero a septiembre de 2022 se registró que la temperatura global de superficie observada (GMST) es de  $1.15 \pm 0.13 \text{ }^\circ\text{C}$  más caliente que la línea de base preindustrial (1850-1900)<sup>1</sup>.

Nota: *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023* (IPCC) será publicado en los próximos días



# INTRODUCCIÓN (2/3)

2. En el reporte *Riesgo Climático de 2021* elaborado por el Banco Mundial, se señala que en Chile las zonas septentrionales del país experimentarán un mayor aumento de la temperatura en comparación con las regiones meridionales. Los modelos climáticos regionales pronostican que el aumento de temperatura será mayor en las regiones centrales. En todos los escenarios de emisiones, las temperaturas seguirán aumentando en Chile a finales de siglo.



Fuente: Google Earth

# INTRODUCCIÓN (3/3)

3. **JRI** ha desarrollado estudios específicos del impacto del Cambio Climático (CC) en las variables hidrológicas principales (precipitaciones y temperaturas) para cuencas de la zona central de Chile en la que se detectaron variaciones importantes en los patrones de las series de temperatura, precipitación y caudales medidas.
4. **JRI** inició en 2020 un proyecto interno de Impacto del Cambio Climático en el desarrollo de la Ingeniería con base en el análisis del riesgo, la evaluación de la sostenibilidad de las obras y las buenas prácticas en ingeniería que serán sometidas a altos impactos en variables climáticas.



# IMPACTO DEL CC EN CHILE (1/3)



## OLAS DE CALOR

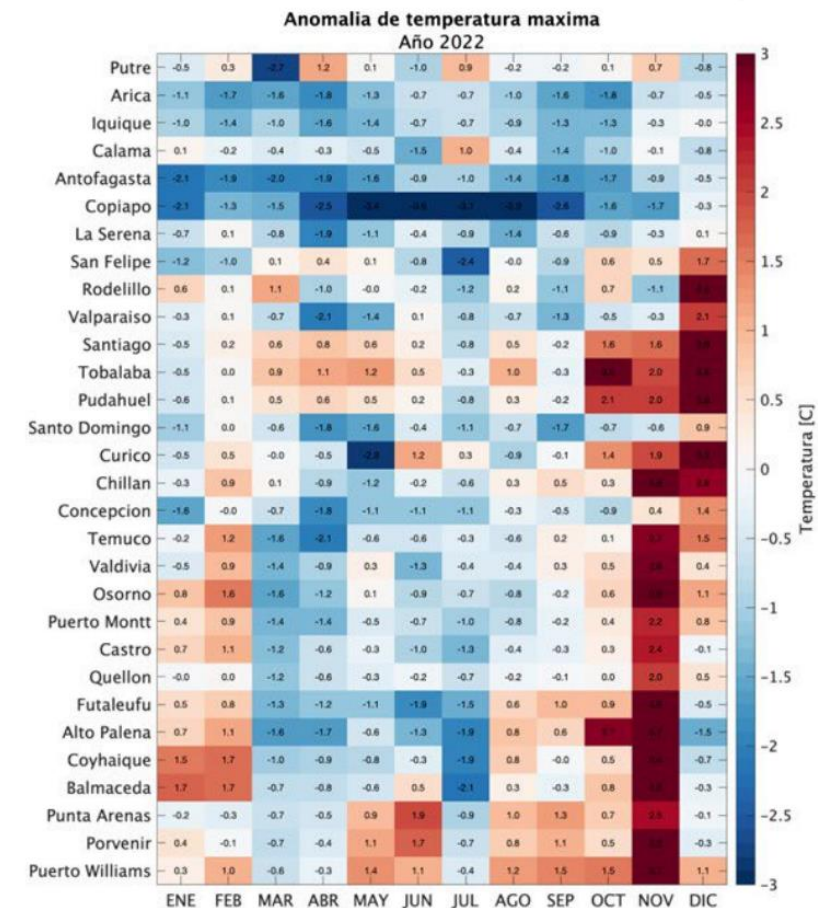
La Dirección Meteorológica de Chile registró la temperatura más altas en promedio para el mes de diciembre de 2022 en Santiago con 32.1°C en 73 años.

## SEQUÍAS

Según la Dirección Meteorológica de Chile, más del 70% del territorio de Chile sufre de déficit de precipitación, sumando hasta el 2022, 15 años consecutivos secos.

## OLAS MARINAS DE CALOR

Floraciones tóxicas promovido por los extremos costeros impulsados por el clima causaron en Chile la muerte de peces, retiros de productos de mariscos, pérdidas económicas sustanciales y enfermedades humanas y muerte en 2016 (Trainer et al., 2019). Se causó una pérdida estimada de MM US\$ 800 millones de dólares en la industria del salmón de cultivo (Díaz et al., 2019).



# IMPACTO DEL CC EN CHILE (2/3)

## INCEDIOS

Las áreas quemadas en el verano 2016-2017 fue 14 veces el valor de la media para el periodo 1985-2016 (Bownman et al., 2019). El área quemada fue de **350.000 Ha** en la parte central sur de Chile. Los costos directos en los que incurrió el estado excedieron MM \$360 (González et al., 2020).

La CONAF (Corporación Forestal – Chile) reportó que en el periodo actual 2022-2023 se han afectado **440.790 Ha**. Los incendios se incrementaron en un +256% en comparación al periodo anterior.

## OLA DE FRIO

Extremas bajas temperaturas fueron reportadas en 2022 en Chile y se rompió record de mayo en los últimos 98 años (-2.1°C) para Santiago .



Incendios Chile, 2023. Fuente: medios informativos Chile.



Incendios Chile, 2023. Fuente: medios informativos Chile.



Valle Colchagua, Chile 2023. Foto: FF



# IMPACTO DEL CC EN CHILE (3/3)

## EROSION COSTERA

La bahía de Valparaíso es altamente afectada por los eventos de el Niño Southern Oscillation (ENSO), lo cual ha originado un incremento de 15 – 20 cm en el nivel medio del mar (Martínez et al., 2018).



Valparaíso, Chile, 2023.  
Foto: FF

## CICLONES

En abril-mayo de 2018 se presentó un ciclón tropical asimétrico en cercanías de la Isla de Rapa Nui.

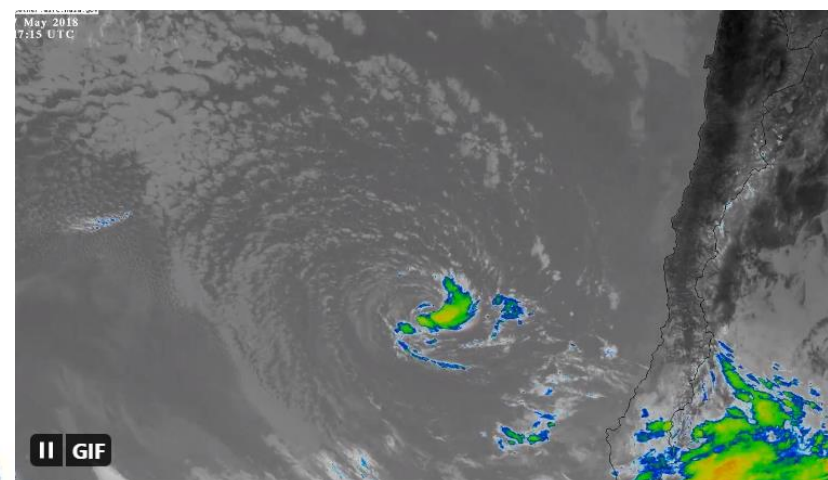


Foto satelital, 2018.



# LA MINERIA EN CHILE



Algunos datos sobre la minería en Chile:

1. El sector minero en Chile ha contribuido con el 8-16% del producto interno del país en los últimos 15 años.
2. En Chile se aprobó el decreto No. 2 del Ministerio de Minería denominado **Política Nacional Minera 2050** en 2023, en el cual se establecieron los siguientes objetivos ambientales:
  - La producción descarbonizada para 2040.
  - Nuevo modelo de desarrollo minero para los próximos 30 años.
  - Una utilización del agua continental en procesamiento de minerales inferior al 10% para el 2030, y del 5% para el 2050.
4. IPCC (UN) indica que hay escasez de información sobre el impacto del cambio climático sobre las futuras actividades mineras.
5. Altamente dependientes de la disponibilidad de agua.
6. Para final del s. XXI se producirán al menos 53,000 Mt de relaves (JRI, 2022)



Maray o piedra de moler, Museo de Colchagua 2023. Foto: FF



Molino SAG (semiautógeno), DMH CODELCO, 2023. Foto: FF



# CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA Y ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE (1/2)



1. El sector minero es el 4° consumidor de agua en el país, es decir, ocupa entre 3-4% del agua continental, pero más del 50% en regiones como Antofagasta y Tarapacá.
2. De acuerdo con estudios realizados por **JRI** (2022) para la zona norte y centro de Chile se determinó que los modelos climáticos (escenario de emisiones RCP8.5) son predictivos en la determinación de las anomalías climáticas como:
  - El aumento de las intensidades de las lluvias diarias,
  - Disminución de las precipitaciones medias mensuales.
  - Aumento de las temperaturas mensuales

Por consiguiente, se recomienda utilizar estas tendencias en la planificación, protección y gestión de los recursos hídricos.

4. Las actividades mineras son altamente dependientes de la disponibilidad de agua.



Espesador, DMH CODELCO 2023. Foto: FF



Celdas SFR, BHP Spence, 2023. Foto: FF



# CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA Y ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE (2/2)



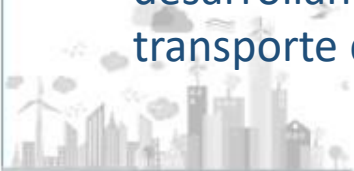
1. La proyección de producción de cobre 2021-2032 aumentará un 21%.
2. *Informe de Proyección de Demanda de 2022 - 2033* (COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre) realizó estudios sobre el consumo de agua en la minería. COCHILCO estimó que hacia el 2033:
  - El consumo de agua será de 21,4 m<sup>3</sup>/s.
  - La demanda de agua de mar será 15,3 m<sup>3</sup>/s.
  - El 71% del abastecimiento de agua provenga del agua de mar.
3. Las mineras en Chile han desarrollado estrategias, junto al Estado y la sociedad debido a la Megasequía (~ 15 años) que se presenta en el país --> Se han propiciado el uso de recursos hídricos marinos.
4. Debido a la escasez y el estrés hídrico, la ingeniería se ha venido desarrollando en el límite del conocimiento actual con respecto al transporte de fluidos, recuperación y .



Embalse – Tranque de Relaves, CODELCO 2023. Foto: FF



Sistemas de impulsión relaves, CODELCO 2023. Foto: FF



# DESAFÍOS EN LA INGENIERÍA (1/4)



JRI ha determinado y avanzado en la investigación aplicada sobre los desafíos en la ingeniería de consulta debido al cambio climático:

1. Optimización de los procesos mineros – plantas concentradoras.
2. Hidrología y cambio climático.
3. Transporte de fluidos e hidrodinámica.
4. Relaves.
5. Minería.



Canaleta Relaves, 2023. Foto: FF



Planta, CMP, 2022. Foto: FF



# DESAFÍOS EN LA INGENIERÍA (2/4)



Optimización de procesos mineros

Modelación física y matemática.

Menor consumo energético y análisis de procesos.

Nuevas tecnologías y equipos (reómetro en línea JRI, sensores, etc.)



Hidrología y cambio climático

Inclusión de modelos de cambio climático en todos los estudios hidrológicos de JRI.

Actualización de estudios anteriores.



Transporte de fluido

Modelación física (CIMS – JRI) y matemática (CFD).

Flujos a  $C_p$  mayores en tuberías y canaletas, batch. Laminarización de flujo, ondas rodantes, etc.

Estudios transiente (PULPAS®, actualización de estudios anteriores).



Relaves

Recuperación de elementos de valor.

Metod. actualización hidrológicos de tranques.

Biotechnología.

Modelos matemáticos actualizados



Minería

Nuevas tecnologías para la reducción de volúmenes de relaves Wasteless Mining (WLM® technology).

Optimización de los procesos.

Utilización del recurso.



JRI



aic  
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS  
CONSULTORAS DE INGENIERÍA DE  
CHILE A.G.

# DESAFÍOS EN LA INGENIERÍA (3/4)



## Impacto del cambio climático en la ingeniería

### 1. Cambio de paradigmas

- CC no se limita a la hidrología → hidráulica. Hay áreas de la ingeniería de consulta que tienen un alto impacto como en Electricidad, Pipelines, Materiales, Estructuras, etc.
- Horizonte y proyección de los diseños (involucra el recurso hídrico) se deberán hacer con escenarios de consumos proyectados que en realidad son menores? Deberíamos incluir y actualizar los consumos?
- Las normativas no van al ritmo de las necesidades de la industria para garantizar diseños seguros → iniciativa privada para la actualización de normas

### 2. Normatividad – códigos de diseño

- Creación de comités locales, asociado a internacionales para la definición técnica de criterios unificados o referenciados a una normativa local
- Creación de comités locales, asociado a internacionales, sobre temáticas para la armonización de los esfuerzos de investigación conjunta.



# DESAFÍOS EN LA INGENIERÍA (4/4)



## Impacto del cambio climático en la ingeniería

### 3. Investigación aplicada

- Interacción con Institutos de investigación aplicada
- Desarrollo de cooperación estratégica con universidades.
- Formación practicantes, maestrías y doctorado.



### 4. Gestión con los órganos consultivos estatales

- Plasmar las estrategias de los comités → triada: consultores, universidades y estado.
- Actualización de normas técnicas y criterios de diseño.



GRACIAS!

