

# Consultoría Independiente NF-UHPRO: Experiencia en Selección e Implementación para DLE

---

## ⚡ Propuesta de Valor Única: Consultor Independiente con Experiencia Real

- **Experiencia comprobada:** Grandes plantas desaladoras + Proyecto NF-UHPRO Taltal en desarrollo
- **Neutralidad tecnológica:** Evaluación objetiva de TODOS los proveedores del mercado
- **Conocimiento del mercado:** Participé en evaluación de Saltworks, Gradiant, BW Waters y otros
- **Sin conflicto de interés:** No vendo equipos, protejo los intereses del cliente

**Evaluación      Selección      Implementación      Optimización**

Análisis neutral  
de proveedores



Mejor tecnología  
para su caso



Supervisión  
independiente



Mejora continua  
multi-proveedor

## Contexto Crítico de Antofagasta

**Agua:** Derechos hasta \$68M por L/s | **Permisos:** 985 días promedio EIA | **Solución NF-UHPRO:** 43% recuperación de agua

## El Desafío de SQM

**Concentrar eluato DLE de 2,000 a 3,510 ppm Li requiere tecnología NF-UHPRO.**

**¿Cómo seleccionar el proveedor correcto entre múltiples opciones?**

**La respuesta: Consultoría independiente con experiencia real de evaluación.**

# UHPRO Global: China y USA Lideran la Implementación Industrial

---

## China: Líder Mundial en Escala y Economía Circular

**110,000**

Toneladas/año  
Capacidad instalada Qinghai

**>95%**

Plantas usando tecnología  
Jiuwu Hi-tech

**200,000**

m<sup>3</sup>/día Tianjin Dagang  
Simbiosis industrial

### Proyectos Emblemáticos Chinos

- **Qinghai Salt Lake Lanke Lithium:** 20,000-30,000 tpa carbonato de litio grado batería
- **Sistema integrado:** Adsorción selectiva + membranas de alta presión
- **Tianjin Dagang:** MED-RO integrado, calor residual + producción de sal
- **CHN Energy Ningxia:** MLD con 95% recuperación antes de ZLD térmico

## Estados Unidos: Innovación en DLE y Coproducción

Proyecto	Ubicación	Tecnología	Escala/Estado
Standard Lithium	Arkansas (Smackover)	DLE + concentración	16.4M gal procesados desde 2020
Salton Sea Projects	California	Geotérmico + DLE + UHPRO	600,000 ton/año potencial
BHE Renewables	Imperial Valley, CA	Coproducción Li-energía	35,000 tpa proyectado
Saltworks Instalaciones	California (múltiple)	FusionRO (NF-UHPRO)	Operativo comercial

### Proyectos DLE-Membranas Validados Comercialmente (2024-2025)

- **Thacker Pass (Lithium Americas):** 40,000 tpa  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  - Arcillas con tren de membranas integrado
- **Hell's Kitchen (CTR):** 27,000 tpa LiOH grado batería - Salmuera geotérmica con DLE
- **Hombre Muerto (Río Tinto):** Expansión 20,000 tpa LCE - Planta híbrida DLE

**Nota:** Estos proyectos confirman que DLE→Membranas→Cristalización es el nuevo estándar industrial

### Lecciones Clave del Mercado Global

- ✓ **China:** Demuestra viabilidad de UHPRO a escala masiva con integración industrial
- ✓ **USA:** Valida modelo DLE-UHPRO continuo y coproducción con geotermia

- ✓ **Tecnología probada:** No es experimental, es comercialmente operativa
- ✓ **Costos validados:** \$3,500-4,500/t LCE en operación (China)

# UHPRO en Sudamérica: Evolución de Pilotos a Escala Industrial

---

## Chile: Madurez en ZLD Minero y Transición a UHPRO

### Sistemas ZLD Operativos

- **Codelco (Molibdeno):**  
ZLD con RO + cristalizador MVR  
Valorización sales para deshielo
- **Molymet:**  
Sistema híbrido RO + térmico  
Validación con pilotos en sitio

### Desarrollos UHPRO

- **Fluence - Planta Piloto:**  
UHPRO/HPNF modular  
Para Triángulo del Litio
- **Proyecto Taltal:**  
Primera UHPRO industrial (no piloto)  
En implementación con BW Waters

### Investigación y Desarrollo

- **Universidad de Chile - Proyecto LiSa:** Membranas hidrofóbicas, 40% recuperación agua (laboratorio)
- **Desaladora Atacama:** Mayor planta municipal, 1,200 L/s, gestión avanzada salmuera
- **ALADYR:** Fundada en Antofagasta, facilita transferencia tecnológica regional

# Argentina: Innovación en DLE

## Proyectos DLE con Potencial UHPRO

### Lithium Argentina:

- Planta demo 5,000 tpa operativa
- Extracción por solventes
- Reducción 1/3 superficie piscinas

### Biometallum:

- Bio-adsorción revolucionaria
- >50% aislamiento Li (lab)
- Prototipo en construcción

### Proyecto Confidencial Sudamérica (2024):

- Sistema modularizado completo en implementación
- Concentración de LiCl al 6% con membranas
- Valida viabilidad técnica-económica en la región

**Múltiples pilotos DLE activos en el Triángulo del Litio**

## Posicionamiento Estratégico Regional

"Taltal representa la transición de Sudamérica de pilotos a implementación industrial de UHPRO, aprovechando la experiencia regional en ZLD y el boom del litio"

# Licitación Internacional NF-UHPRO Taltal: Mi Experiencia en Evaluación Competitiva

## Proceso de Evaluación de 6 Meses con Líderes Mundiales

**6 meses**

Proceso técnico-comercial completo

**4**

Proveedores líderes mundiales evaluados

**\$2-4M**

Rango de precios sistema 100 m<sup>3</sup>/h

### **ACLARACIÓN FUNDAMENTAL: NF-UHPRO es Tecnología de Mercado, NO una Marca**

#### **La Tecnología:**

- **NF-UHPRO (Nanofiltración + Ultra-High Pressure RO)** es un proceso tecnológico abierto
- Membranas de 120 bar fabricadas por múltiples proveedores (DuPont, LG Chem, etc.)

#### **Los Integradores:**

- BW Waters, Saltworks, Gradient son **integradores de sistemas**
- Compiten en diseño, eficiencia y precio de integración



- Tecnología disponible en el mercado global
- BW Waters ganó Taltal por mejor propuesta integral, no por tecnología exclusiva

**Por tanto: Uso datos de BW Waters porque ganaron una licitación competitiva, no por preferencia tecnológica**

## Evaluación Detallada de Proveedores Globales - Tabla Comparativa Completa

Proveedor	Presión	TDS Máx	Validación Comercial	Estado
Saltworks	120 bar	130,000 mg/L	Refinador Li operando	Evaluado
Gradiant	<80 bar	260,000 mg/L	Pilotos mineros	Evaluado
BW Waters	120 bar	90,000 mg/L	Taltal (2026)	Adjudicado ✓
Fluence	Variable	Variable	Plantas piloto región	No participó

## Estrategia del Análisis: Baseline de Costos vs. Robustez Operativa

Para este análisis económico, he utilizado los datos de costos de **BW Waters**. La razón es simple: su propuesta fue la ganadora en una licitación real que supervisé, dándonos una **base de costos conservadora y validada por el mercado**.

Sin embargo, como asesor de SQM, mi prioridad es la **máxima confiabilidad operativa**. Tecnologías como la de **Saltworks**, que ya opera a 130,000 mg/L en una aplicación similar, ofrecen una robustez técnica superior que debe ser considerada.

**Mi rol en la FASE 0 será precisamente cuantificar esta relación costo/riesgo:** forzar a los proveedores a competir para determinar el costo real de la solución más robusta para el eluato de SQM, asegurando no solo el mejor precio, sino la operación más segura a largo plazo.

### **BW WATERS - Adjudicado ✓**

**Tecnología:** NF-UHPRO 120 bar | **Experiencia:** Global en desalinización

**Fortaleza clave:** Mejor propuesta técnico-económica para condiciones Taltal

**Datos OPEX validados:** Propuesta incluye consumibles detallados

**Estado actual:** Adjudicación Q4 2025, supervisaré implementación 2026

### **SALTWORKS - Tecnología Validada Comercialmente**

**Tecnología:** FusionRO (NF-UHPRO híbrido) | **TDS máx:** 130,000 mg/L

**VALIDACIÓN CRÍTICA:** Operando en refinador de litio líder

**Confirma:** NF-UHPRO es el estándar de la industria para concentración DLE

### **GRADIANT - Evaluado**

**Tecnología:** CFRO <80 bar | **TDS máx:** >260,000 mg/L

**Fortaleza:** Opera a menor presión, menores costos | **Experiencia:** Proyectos mineros

## Valor de la Experiencia de Evaluación Competitiva

- ✓ Conocimiento de precios reales del mercado (no lista de precios)
- ✓ Comprensión de fortalezas/debilidades técnicas de cada sistema
- ✓ Capacidad de negociación basada en alternativas reales
- ✓ Red de contactos con TODOS los proveedores principales
- ✓ **Base para análisis:** Costos reales validados, no estimaciones teóricas

## Criterios de Evaluación Aplicados

**Técnica (40%):** Capacidad TDS, presión operación, eficiencia energética

**Económica (35%):** CAPEX, OPEX, costo ciclo de vida

**Experiencia (25%):** Referencias similares, soporte local, garantías

**Esta experiencia real evaluando a los líderes mundiales  
me permite ofrecer a SQM una selección verdaderamente objetiva e  
informada**

# Sistema Integrado NF-UHPRO: El Pretratamiento NF es CRÍTICO para DLE

## ALERTA TÉCNICA CRÍTICA

### RIESGO SIN NF

- $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  → Scaling severo
- Sílice → Fouling irreversible
- Cation bridging → Falla catastrófica
- Vida útil membranas: 3-6 meses
- Pérdida total de la inversión

### SOLUCIÓN CON NF

- NF remueve 95% divalentes
- Protección contra scaling
- Membranas UHPRO protegidas
- Vida útil: 12-24 meses
- Operación estable y rentable

**El pretratamiento NF NO es opcional - es un REQUISITO CRÍTICO PARA LA MISIÓN**

## VALIDACIÓN COMERCIAL PROBADA

**Saltworks FusionRO (NF-UHPRO híbrido)**

✓ Operando comercialmente en refinador de litio líder

- ✓ Procesando > 130,000 mg/L TDS
- ✓ El estándar de la industria para concentración DLE

## Integración en el Proceso DLE de SQM

### BALANCE MÁSICO COMPLETO DEL SISTEMA



@ 3,510 ppm Li  
(10,300 kg Li/día)

Agua para reciclo  
(Reciclo a DLE)



**MVR REDUCIDO 43%**



## Benchmark Global: Selectividad DLE y su Impacto en Membranas

### Tecnologías DLE Modernas

- Selectividad Li/Mg: >95%
- Rechazo  $\text{Ca}^{2+}$ : >95%
- Concentración Li: 2,000-6,000 ppm

### Impacto en NF-UHPRO

- Vida útil membranas: +50% con mejor eluato
- Potencial eliminación precipitación química
- Ahorro adicional: hasta \$500/ton LCE

**La calidad del eluato DLE es crítica para la optimización total del sistema**

## Parámetros Críticos de Diseño NF-UHPRO

**120 bar**

Presión operación  
Validada globalmente

**43%**

Recuperación agua  
Para reciclo DLE

**4.71**

kWh/m<sup>3</sup>  
SEC con ERDs

# \$34M

Ahorro CAPEX  
en evaporador

## Ahorro en Agua - Valor Crítico en Antofagasta

**Sin NF-UHPRO:** 1,875,000 m<sup>3</sup>/año agua nueva requerida para elución DLE

**Con NF-UHPRO:** 1,067,000 m<sup>3</sup>/año (43% reciclaje)

**Ahorro anual:** 808,000 m<sup>3</sup>/año - Crítico donde derechos de agua cuestan hasta \$68M/L/s

## Beneficios de la Asesoría Independiente en NF-UHPRO

- ✓ Selección objetiva entre Saltworks, Gradiant, BW Waters, Fluence u otros
- ✓ Diseño optimizado para características específicas del eluato DLE
- ✓ Integración eficiente con cualquier tecnología DLE seleccionada
- ✓ Flexibilidad para cambiar o mejorar con distintos proveedores

# Base de Diseño del Caso de Estudio DLE-NF-UHPRO

## Parámetros Técnicos para Análisis Económico

### Objetivo de Producción

**20,000**

tpa LCE

**54.8**

ton/día LCE

**10.3**

ton/día Li metal

### Tabla Principal de Diseño

Parámetro	Valor
Objetivo Producción	20,000 tpa LCE
Flujo DLE requerido	5,150 m <sup>3</sup> /día
Concentración Li	2,000 ppm



<b>Sistema integrado</b>	<b>NF + UHPRO</b>
<b>Módulos UHPRO</b>	<b>6</b> (5 operativos + 1 standby)
<b>Factor utilización</b>	73%
<b>TDS máximo (tecnología probada en mercado)</b>	<b>130,000 mg/L*</b>

\*Nota: El caso base económico se modela con tecnología de 90,000 mg/L para establecer un baseline de costos conservador. La selección final apuntará a la tecnología más robusta disponible para el eluato de SQM.

## Tabla de Sensibilidad

Escenario	Flujo DLE	Li (ppm)	Módulos	CAPEX NF-UHPRO
Conservador	6,200 m <sup>3</sup> /día	1,700	7-8	\$8.5-9.5M
<b>Base</b>	<b>5,150 m<sup>3</sup>/día</b>	<b>2,000</b>	<b>6</b>	<b>\$7.5M</b>
Optimista	4,300 m <sup>3</sup> /día	2,400	5	\$6.25M
<b>DLE Alta Selectividad</b>	5,150 m <sup>3</sup> /día	2,000 (Ca/Mg <50)	6	\$7.5M*

\*Con DLE de alta selectividad (>95% rechazo Ca/Mg), el OPEX puede reducirse hasta \$500/ton LCE adicionales por eliminación de precipitación química, validado en proyectos comerciales recientes.

## Especificaciones Módulo NF-UHPRO

**Tecnología:** BW Waters NF-UHPRO

**Capacidad unitaria:**

- Input: 36 m<sup>3</sup>/h (858 m<sup>3</sup>/día)
- Output concentrado: 20.5 m<sup>3</sup>/h
- Recuperación: 43% del agua

**Presión operación:** 120 bar

**SEC con ERDs:** 4.71 kWh/m<sup>3</sup>

## Configuración del Sistema

**Módulos requeridos:**

$$5,150 \text{ m}^3/\text{día} \div 858 \text{ m}^3/\text{día} = 6.0$$

**Configuración práctica:**

**6 módulos NF-UHPRO**

(5 operativos + 1 standby/redundancia)

**Factor de utilización:** 73% con redundancia

## Balance Másico Detallado por Módulo

### ENTRADA

**858 m<sup>3</sup>/día**

@ 2,000 ppm Li

1,716 kg Li/día

### CONCENTRADO

**489 m<sup>3</sup>/día**

@ 3,510 ppm Li

1,716 kg Li/día

### AGUA RECUPERADA

**369 m<sup>3</sup>/día**

Para reciclo a DLE

43% del input

**\$7.5M**

CAPEX NF-UHPRO  
(6 módulos)

**\$2.94M/año**

OPEX NF-UHPRO  
Validado BW Waters

**43%**

Reducción flujo  
a evaporador

**\$34M**

Ahorro CAPEX  
en MVR

### Justificación del Caso Base

El caso base de 5,150 m<sup>3</sup>/día @ 2,000 ppm Li representa un escenario conservador-medio basado en experiencias reales de DLE en Smackover y proyectos sudamericanos. Los ahorros calculados son robustos dentro del rango de variación esperado.

# Por Qué un Consultor Independiente es Crítico para el Éxito NF-UHPRO

## Ventajas sobre Proveedores Directos

- **Sin sesgo tecnológico:** Recomendando lo mejor, no lo que vendo
- **Evaluación multi-proveedor:** Comparación real, no teórica
- **Protección del cliente:** Superviso cumplimiento de garantías
- **Flexibilidad total:** Puedo cambiar estrategia si es necesario

## Conocimiento del Mercado Real

- **Precios reales:** De licitación Taltal, no de lista
- **Performance real:** Qué prometen vs qué entregan
- **Riesgos ocultos:** Problemas que no mencionan
- **Benchmarking:** Comparación continua entre tecnologías

## Matriz de Evaluación de Proveedores NF-UHPRO

Criterio

Saltworks

Gradiant

BW Waters

Fluence

<b>Sistema/Integración</b>	Integrador FusionRO (NF + UHPRO)	Integrador CFRO (Membranas <80 bar)	Integrador NF-UHPRO (Membranas 120 bar)	Modular UHPRO/HPNF (Piloto)
<b>TDS máximo</b>	130,000 mg/L	>260,000 mg/L	90,000 mg/L	Variable
<b>Experiencia regional</b>	Plantas piloto	Proyectos mineros	Taltal (nuevo)	Triángulo del Litio
<b>Rango OPEX anual</b>	\$2.5-3M/año (est.)	\$2.2-2.8M/año (menor presión)	\$2.94M/año (validado)	Variable
<b>Evaluación Taltal</b>	Participó ✓	Participó ✓	Adjudicado ✓✓	No participó

## Mi Valor Diferencial

"Conozco las fortalezas y debilidades REALES de cada proveedor porque los evalué todos.  
Puedo negociar mejor porque ellos saben que conozco las alternativas.  
Protejo los intereses de SQM, no los del proveedor."

# Servicios de Consultoría Independiente para Implementación NF-UHPRO

## FASE 1: SELECCIÓN TECNOLOGÍA ÓPTIMA (Mes 1-2)

- Caracterización detallada del eluato DLE de SQM
- RFP técnico basado en experiencia real de Taltal
- Evaluación objetiva de propuestas (Saltworks, Gradiant, BW Waters, otros)
- **Análisis OPEX detallado con datos reales de proveedores (no estimaciones)**
- Análisis TCO (Total Cost of Ownership) real, no teórico
- **Validación crítica del pretratamiento NF para prevenir cation bridging**
- **Evaluación de tecnologías ERD: Isobáricos vs Turbochargers**
- **Análisis vida útil membranas con química específica del eluato**
- **Benchmark de selectividad del DLE actual vs mejores prácticas globales (>95%)**
- **Análisis de potencial eliminación de precipitación química (hasta -\$500/ton LCE)**
- **Evaluación de configuraciones alternativas: IX-NF vs NF-UHPRO directo**
- **Cuantificación del valor real del agua de elución recuperada en contexto local**
- Negociación con poder - los proveedores saben que conozco alternativas

**Entregable: Recomendación objetiva del mejor proveedor para SQM**

## FASE 2: GESTIÓN DE IMPLEMENTACIÓN (Mes 3-8)

- Supervisión independiente del proveedor seleccionado
- Revisión crítica de ingeniería de detalle
- Control de cumplimiento de especificaciones y garantías
- Coordinación con proveedor DLE para integración óptima

- Gestión de cambios sin conflicto de interés

**Entregable: Sistema NF-UHPRO instalado cumpliendo especificaciones**

### **FASE 3: OPTIMIZACIÓN Y TROUBLESHOOTING (Mes 9-12)**

- Commissioning con experiencia multi-tecnología
- Benchmarking con otras instalaciones globales
- Plan B con proveedores alternativos si hay problemas
- Optimización basada en mejores prácticas de todos los proveedores
- Transferencia de conocimiento al equipo SQM

**Entregable: Sistema optimizado y equipo capacitado**

## **Mi Independencia Total: Sin Ataduras Tecnológicas**

"Como consultor independiente, puedo trabajar con CUALQUIER integrador NF-UHPRO.

Hoy presento datos de BW Waters porque ganaron competitivamente en Taltal.

Mañana puedo recomendar Saltworks, Gradiant o cualquier otro si es mejor para SQM.

**Mi éxito = El mejor resultado para SQM, no la selección de un proveedor específico."**

## **Modelo de Colaboración Flexible**

### **Consultoría Completa**

Desde selección hasta  
optimización

### **Solo Selección**

Evaluación y recomendación  
Fee fijo por entregable

### **Supervisión Técnica**

Oversight de implementación  
Protección de intereses

Fee mensual + success fee  
Máxima protección para SQM

SQM gestiona implementación

Fee por milestone

## Red de Contactos Establecida

**Saltworks:** Relación desde licitación Taltal | **Gradiant:** Conocimiento de su tecnología CFRO | **BW Waters:** Trabajando actualmente | **Fluence:** Acceso a plantas piloto | **Energy Recovery:** ERDs críticos | **DuPont/LG:** Membranas especializadas



# Metodología y Supuestos del Análisis Económico

## Justificación del CAPEX del Evaporador MVR

### Factores de Costo MVR en Chile - Base \$95M

Factor	Impacto	Justificación
Base Equipment (FOB)	\$60M	Evaporador estándar para 5,150 m³/día
Impuestos Importación Chile	+\$15M (+25%)	6% arancel + 19% IVA sobre CIF
Factor Complejidad Salmuera DLE	+\$12M	Alto BPE por Mg/Ca requiere diseño especial
Riesgo País/Cronograma	+\$8M	40% sobrecosto promedio en minería chilena
TOTAL ESTIMADO	\$95M	Clase 5 AACE (-30%/+50%)

Rango real: \$65M - \$140M

Sin caracterización precisa del eluato, el riesgo de error es enorme

## Clasificación de Estimados según AACE International

Este análisis utiliza los estándares de la **Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE)** para transparentar el nivel de precisión de cada estimado de costos

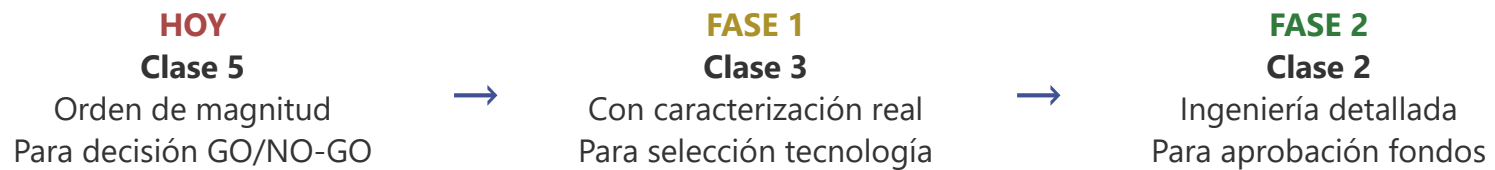
Elemento	Clase AACE	Precisión	Base
Sistema NF-UHPRO	Clase 4	-15% a +30%	Cotizaciones Taltal + Validación comercial
Evaporador MVR Grande	Clase 5	-30% a +50%	Justificado arriba
Evaporador MVR Chico	Clase 5	-30% a +50%	Factor escala 0.6
OPEX NF-UHPRO	Clase 3-4	-10% a +20%	Datos validados BW Waters Incluye pretratamiento NF

## Validación del CAPEX \$95M - Múltiples Fuentes

Fuente/Método	Valor Estimado	Base de Cálculo
---------------	----------------	-----------------

<b>Benchmark Industrial Global</b>	\$86-107M	\$20k/m <sup>3</sup> /día × 5,150 × factor Chile 1.58
<b>Escalamiento desde Planta Existente</b>	\$92M	Planta 100 m <sup>3</sup> /h en USA \$30M × (5.15) <sup>0.6</sup> × 1.58
<b>Base de Datos Richardson</b>	\$88-110M	MVR 215 ton/h, materiales SS316L, Chile
<b>CONSENSO</b>	<b>\$95M ± 30%</b>	<b>Promedio ponderado Clase 5 AACE</b>

## Mi Valor Como Consultor: Evolución de la Precisión



## Sensibilidad al BPE (Boiling Point Elevation)

El BPE del eluato DLE puede variar dramáticamente según concentraciones de Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup>  
**Cada 1°C de BPE adicional = +5-10% en CAPEX del evaporador**  
 Sin caracterización precisa, el diseño podría estar subdimensionado o sobredimensionado

## **Conclusión del Análisis de Orden de Magnitud**

**Incluso con la máxima incertidumbre (+50% en MVR, -30% en ahorros), el caso NF-UHPRO mantiene un ahorro mínimo de \$12M en CAPEX. Esto justifica plenamente invertir en un estudio detallado (Fase 1).**

# Análisis Económico: ROI de la Consultoría Independiente

## COMPARACIÓN DE ESCENARIOS DLE (20,000 tpa LCE) - COSTOS TOTALES TRANSPARENTES

Concepto	DLE → MVR Grande	DLE → NF-UHPRO → MVR Chico	Ahorro
<b>CAPEX</b>			
Sistema UHPRO base	\$0	\$6.75M	-
Pretratamiento NF	\$0	\$0.75M	-
Total Sistema NF-UHPRO	\$0	\$7.5M	-
Evaporador MVR	\$95M	\$61M	-
<b>CAPEX Total</b>	<b>\$95M</b>	<b>\$68.5M</b>	<b>-\$26.5M (-28%)</b>
<b>OPEX ANUAL</b>			
UHPRO operación	\$0	\$2.79M	-

NF pretratamiento	\$0	\$0.15M	-
Total NF-UHPRO	\$0	\$2.94M	-
MVR	\$20.85M	\$11.83M	-
OPEX Total	\$20.85M	\$14.77M	-\$6.08M/año (-29%)
TOTAL 10 AÑOS	\$320M	\$226M	-\$94M (-29%)

**Nota de Transparencia:** Costos incluyen sistema NF completo - No hay costos ocultos

## COMPARACIÓN VISUAL DE ESCENARIOS

### SIN NF-UHPRO

DLE: 5,150 m³/día



MVR GRANDE  
\$95M CAPEX  
\$20.85M/año

### CON NF-UHPRO

DLE: 5,150 m³/día



NF-UHPRO: \$2.94M/año  
Recupera 43% agua  
Incluye NF crítico





**TOTAL: \$320M/10años**

**MVR CHICO**

**\$61M CAPEX**

**\$11.83M/año**



**TOTAL: \$226M/10años**

**AHORRO: \$94M (29%)**

# Análisis de OPEX: Desglose Detallado y Comparativo

---

## OPEX NF-UHPRO (6 módulos @ \$490k/módulo) - INCLUYE PRETRATAMIENTO

### Distribución de Costos

**Energía:** \$624k/año (21%)

**Membranas UHPRO:** \$342k/año (12%)

**Sistema NF (pretratamiento):** \$150k/año (5%)

**Químicos NF:** \$35k/año (1%)

**Mantenimiento:** \$180k/año (6%)

**Mano obra:** \$1,609k/año (55%)

### Métricas Clave

**TOTAL: \$2.94M/año**

**Por ton LCE:** \$147/t

**Por m<sup>3</sup> procesado:** \$1.56/m<sup>3</sup>

✓ **Incluye NF crítico**

## OPEX MVR Actualizado



Concepto	Sin NF-UHPRO (5,150 m <sup>3</sup> /día)	Con NF-UHPRO (2,935 m <sup>3</sup> /día)	Ahorro
Energía (80 kWh/m <sup>3</sup> )	\$18.0M/año	\$10.3M/año	-\$7.7M
Mantenimiento (3% CAPEX)	\$2.85M/año	\$1.83M/año	-\$1.02M
<b>TOTAL MVR</b>	<b>\$20.85M/año</b>	<b>\$11.83M/año</b>	<b>-\$9.02M/año</b>

## Comparación Total del Sistema

**Sin NF-UHPRO:** MVR Grande = \$20.85M/año

**Con NF-UHPRO:** NF-UHPRO (\$2.94M) + MVR Chico (\$11.83M) = \$14.77M/año

**Ahorro neto OPEX: \$6.08M/año (29%)**



### Potencial de Optimización con DLE de Alta Selectividad

#### Caso Base Presentado

**\$2.94M/año**

OPEX NF-UHPRO estándar  
Incluye precipitación química

#### Con DLE >95% Selectividad

**\$2.44M/año**

Eliminación precipitación: -\$500/ton  
Menor fouling membranas: -\$150k/año

**17% reducción adicional**

**Nota: Optimización validada en proyectos comerciales 2024-2025**

# Análisis de Sensibilidad: Robustez del Caso NF-UHPRO

## Sensibilidad Vida Útil Membranas - IMPACTO DEL PRETRATAMIENTO NF

Condición	Vida Útil	Impacto OPEX	Riesgo Operacional
Con NF óptima	12-24 meses	Base	Operación estable
NF subóptima	9 meses	+\$19k/año	Riesgo medio
Sin NF	3-6 meses	+\$342k/año	<b>FALLA CATASTRÓFICA</b>

**Sin pretratamiento NF, el cation bridging destruye las membranas UHPRO  
El sistema se vuelve INVIABLE económica y operacionalmente**

## Impacto de la Calidad del Eluato DLE en Costos

Calidad Eluato	Ca/Mg (ppm)	Tratamiento Requerido	Impacto OPEX
----------------	-------------	-----------------------	--------------

Estándar	500-1,000	Precipitación completa	Base
Mejorado	100-500	NF simple + química parcial	-\$200/ton LCE
<b>Alta Selectividad</b>	<b>&lt;50</b>	<b>Directo a NF-UHPRO</b>	<b>-\$500/ton LCE</b>

Fuente: Validación en proyectos comerciales DLE-Membranas 2024

## Sensibilidad al Precio de Electricidad

Precio \$/MWh	OPEX NF-UHPRO	OPEX MVR	Diferencial
\$90	\$2.47M	\$16.9M	\$14.4M
\$120	\$2.94M	\$20.85M	\$17.9M
\$150	\$3.41M	\$26.1M	\$22.7M

## Robustez del Caso Económico

¿Qué pasa si el MVR cuesta menos?

**MVR = \$65M**  
Ahorro: \$12M  
ROI: 2,400%

**MVR = \$95M (base)**  
Ahorro: \$26.5M  
ROI: 5,300%

**MVR = \$125M**  
Ahorro: \$41M  
ROI: 8,200%

**Conclusión: Rentable en TODOS los escenarios posibles**

### **Zona de Decisión - Break-Even Analysis**

**Conclusión: No existe escenario realista donde MVR sea más económico que NF-UHPRO**

# Justificación Técnica: Cálculos de Ingeniería Validados

## Cálculo Ahorro Evaporador

**Sin NF-UHPRO:** 5,150 m<sup>3</sup>/día → CAPEX = \$95M

**Con NF-UHPRO:** 2,935 m<sup>3</sup>/día (43% menos)

**CAPEX = \$95M × (2,935/5,150)<sup>0.6</sup> = \$61M**

**Ahorro CAPEX: \$34M**

## Validación Global de la Arquitectura DLE-Membranas

**40,000**

tpa en construcción  
(Thacker Pass)

**27,000**

tpa en desarrollo  
(Hell's Kitchen)

**20,000**

tpa en expansión  
(Hombre Muerto)

**87,000 tpa totales validan: DLE → Membranas → Cristalización mínima**

# Decisiones de Ingeniería Críticas

## Tecnología ERD (Recuperación de Energía) - Decisión Clave

### OPCIÓN A: Recuperadores Isobáricos

- Eficiencia: >97%
- Complejidad: Alta (requiere booster pump)
- Ideal si: Costo energía es crítico largo plazo

### OPCIÓN B: Turbochargers

- Eficiencia: 92-94%
- Complejidad: Baja
- Ideal si: Simplicidad operativa prioritaria

**Mi valor: Análisis TCO completo para determinar la mejor opción para SQM**

## Balance de Agua

**Sin NF-UHPRO:** 1,875,000 m<sup>3</sup>/año agua nueva

**Con NF-UHPRO:** 1,067,000 m<sup>3</sup>/año (43% reciclaje)

**Ahorro:** 808,000 m<sup>3</sup>/año

**Valor en Antofagasta:** Crítico (hasta \$68M/L/s)

## Validación Comercial

**Tecnología validada: Saltworks FusionRO (NF-UHPRO híbrido)  
operando comercialmente en refinador de litio líder,  
alcanzando >130,000 mg/L TDS con pretratamiento NF integrado**

## Consumo Energético

### NF-UHPRO con ERDs

**Consumo específico:** 4.71 kWh/m<sup>3</sup>  
**Volumen anual:** 1,879,750 m<sup>3</sup>/año  
**Energía total:** 8,853,623 kWh/año  
**Con ERDs:** 43% recuperación agua

### Evaporador MVR

**Consumo específico:** 80 kWh/m<sup>3</sup>  
**Sin NF-UHPRO:** 150,375,000 kWh/año  
**Con NF-UHPRO:** 85,693,000 kWh/año  
**Reducción:** 43% menos energía



# Alineación con Objetivos Estratégicos de SQM

## Sostenibilidad y ESG

### NF-UHPRO + MVR Eléctrico vs MEE Térmico

#### Beneficios Ambientales

- ✓ Reducción huella carbono: -40%
- ✓ Independencia de combustibles fósiles
- ✓ Alineado con matriz renovable Chile
- ✓ Menor consumo de agua (-43%)

#### Cumplimiento Regulatorio

- ✓ Anticipación a regulaciones futuras
- ✓ Mejora score ESG corporativo
- ✓ Acceso a financiamiento verde
- ✓ Licencia social fortalecida

## Resiliencia Operacional

**-43%**

Menor dependencia  
de agua fresca

**4**

Proveedores validados  
Sin lock-in tecnológico

**100%**

Tecnología probada  
comercialmente

**-40%**

Reducción  
huella carbono

## **Flexibilidad ante Cambios del Mercado**

**Múltiples proveedores:** Saltworks, Gradiant, BW Waters, otros

**Sin dependencia:** Puedo cambiar o mejorar con distintos proveedores

**Evolución continua:** Incorporación de mejoras tecnológicas futuras

## **Inversión en el Futuro**

NF-UHPRO no es solo una solución técnica,  
es una inversión estratégica en sostenibilidad,  
resiliencia y liderazgo tecnológico en la industria del litio

# Sincronización de Proyectos: Taltal Real y Caso Hipotético SQM

---

## Proyecto Taltal NF-UHPRO - Cronograma Real en Desarrollo

### Proyecto Taltal (BW Waters) - En Curso

**Q4 2025:**

- Adjudicación
- Inicio de proyecto
- Kick-off meeting

**Q1 2026:**

- Ingeniería completa
- Especificaciones finales
- Orden de equipos

**Q3 2026:**

- Fabricación completa
- FAT completado
- Envío a sitio

**Q4 2026:****OPERATIVO**

Commissioning completo  
Datos reales disponibles

### Caso Hipotético: Si SQM Decidiera Implementar NF-UHPRO

*Aprovechando la experiencia y datos reales de Taltal*

#### **Q4 2026 - Q1 2027:**

#### **EVALUACIÓN CON DATOS REALES**

- Análisis resultados Taltal
- RFP optimizado
- Selección informada

#### **Q2-Q3 2027:**

#### **IMPLEMENTACIÓN ACELERADA**

- Diseño validado
- Fabricación e instalación
- Menos riesgo técnico

#### **Q4 2027 - Q1 2028:**

#### **PUESTA EN MARCHA**

Commissioning optimizado  
Basado en lecciones Taltal

## **Ventaja Estratégica de la Sincronización**

"Esperar los resultados de Taltal Q4 2026 permite a SQM tomar una decisión completamente informada con datos operacionales reales, no proyecciones"

## **Reducción de Tiempos con Experiencia Validada**

**Sin experiencia Taltal**

18-24 meses típicos



**Con datos Taltal**

12-15 meses posibles

# Conclusiones: El Valor de la Consultoría Independiente NF-UHPRO

---

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPACTO

### SIN CONSULTORÍA INDEPENDIENTE

- Selección sin competencia real
- Riesgo de sobredimensionamiento
  - Atado a un solo proveedor
  - Sin validación de garantías

**Riesgo: +30-50% sobrecosto**

### CON EVALUACIÓN COMPETITIVA

- 4+ proveedores evaluados
- Diseño optimizado para DLE
  - Flexibilidad tecnológica
  - Supervisión independiente

**Beneficio: \$94M ahorro validado**

**La diferencia: Experiencia real en evaluación competitiva NF-UHPRO**

# Valor Diferencial Comprobado

"Experiencia real evaluando Saltworks, Gradiant, BW Waters y otros  
Conocimiento de precios reales de licitación, no de lista  
Independencia total para recomendar la mejor solución para SQM"

## Garantías ✓

- ✓ Evaluación objetiva de TODOS los proveedores
- ✓ Precios negociados, no de lista
- ✓ Supervisión independiente sin conflictos
- ✓ Flexibilidad para cambiar si es necesario
- ✓ Transferencia de conocimiento real
- ✓ Ahorro verificable de \$94M en TCO

## Riesgos Mitigados X

- X Quedar atado a una tecnología inadecuada
- X Pagar sobrepagos por falta de alternativas
- X Descubrir problemas sin poder cambiar
- X Depender de un solo proveedor
- X Perder garantías por falta de supervisión
- X Falla catastrófica por no usar NF

## Mensaje Técnico Crítico

- ✓ **El pretratamiento NF NO es opcional:** Es un requisito crítico validado comercialmente
- ✓ **Saltworks FusionRO lo confirma:** NF-UHPRO híbrido operando en refinador líder
- ✓ **Sin NF = Falla catastrófica:** Cation bridging destruye membranas en 3-6 meses

✓ **Mi valor:** Garantizo la implementación correcta del sistema completo

## Mi Compromiso

**Los datos presentados son reales y validados.**

En la Fase 1 de consultoría, obtendré cotizaciones actualizadas de TODOS los proveedores específicamente para las condiciones de SQM, garantizando una evaluación 100% objetiva.

Mi éxito se mide por el éxito de SQM, no por la selección de un proveedor específico.

## Experiencia + Validación

### Desalinización

Grandes plantas  
SWRO operativas

### Licitación Taltal

Evaluación  
competitiva  
real de NF-UHPRO

### Implementación

Supervisión actual  
proyecto BW Waters

### Validación

Saltworks FusionRO  
operando  
comercialmente

### Tendencia Global

100,000+ tpa  
validados en  
DLE+Membranas

**La arquitectura DLE→NF-UHPRO→MVR no es experimental:**

**Es el estándar validado por > 100,000 tpa en proyectos comerciales 2024-2025.**

**Mi rol es garantizar que SQM implemente la mejor versión de este estándar.**

## Próximos Pasos

## 1. FASE 0: Validación

Caracterizar SU eluato DLE  
Pruebas con múltiples  
membranas

**Piloto 3-6 meses = Certeza  
total**

## 2. Propuesta Detallada

Alcance de servicios  
Cronograma implementación  
Estructura de fees

## 3. Inicio Q1 2025

RFP a proveedores  
Evaluación competitiva  
Selección óptima

### CONTACTO | Consultoría Independiente NF-UHPRO con Experiencia Real

**Nota:** Esta propuesta se basa en experiencia real de evaluación competitiva en la licitación del proyecto NF-UHPRO Taltal, donde participaron los principales proveedores globales. Los datos de OPEX están validados con la propuesta técnica de BW Waters e incluyen el sistema de pretratamiento NF crítico. La tecnología NF-UHPRO está validada comercialmente por Saltworks FusionRO operando en refinador de litio líder alcanzando >130,000 mg/L TDS. Como consultor independiente, mantengo relaciones profesionales con todos los proveedores y puedo trabajar objetivamente con cualquiera de ellos según las necesidades específicas del cliente.



