



FLUJO DE TRABAJO CON ENFOQUE PROBABILÍSTICO PARA EL  
MODELADO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UN CAMPO DE CRUDOS PESADOS  
CON FUERTE INFLUENCIA GEOTÉRMICA.  
YACIMIENTO LLANCANELO, MALARGÜE, MENDOZA

Diego Moglia, Gustavo G. Becerra, Victor Lara, Esteban M.  
Pironi, Ariel R. Buchini, Aldo O. Montagna, Bárbara Villoslada





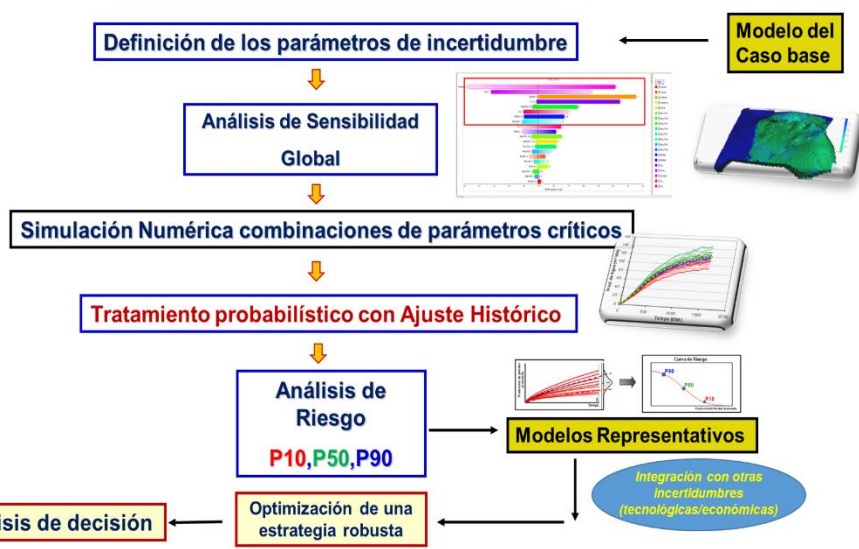
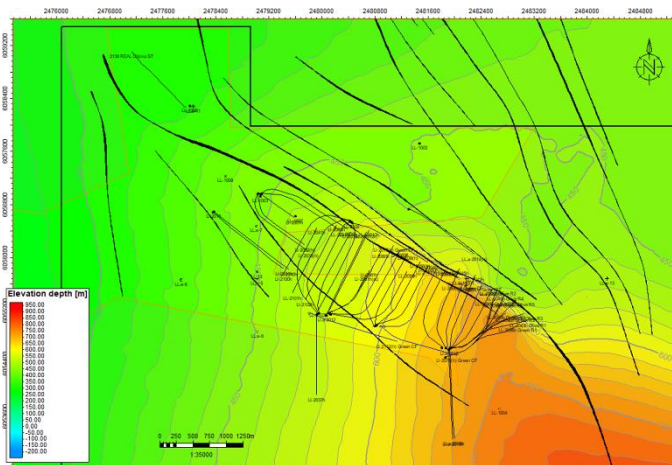
## Objetivos del Estudio Integral

- *Lograr una **interacción de "ida y vuelta"** para la actualización del modelo estático-dinámico, incluyendo el análisis de incertidumbres evaluando diferentes escenarios posibles a partir de un estudio integrado entre geología, petrofísica e ingeniería.*
- *Entender y validar el comportamiento del **fluido en condiciones de fondo** (a falta de muestras de PVT completas y representativas). **Acoplar con el comportamiento térmico** (calentamiento eléctrico en fondo, influencia geotérmica local).*
- *Realizar un **análisis de sensibilidad e incertidumbre** mediante una aproximación interdisciplinaria de fuentes de datos de gran dispersión. Proceder con un **ajuste histórico probabilístico y generar pronósticos con la incertidumbre remanente.***
- ***Reemplazar el empleo del pozo tipo** en las zonas de avanzada identificadas considerando la **variación petrofísica establecida**, y el impacto de las **geo-realizaciones de estructuras y facies con el gradiente geotérmico** en la respuesta predictiva.*
- *Optimizar en forma robusta el **diseño de trayectorias bajo incertidumbre remanente** en zonas de avanzada*

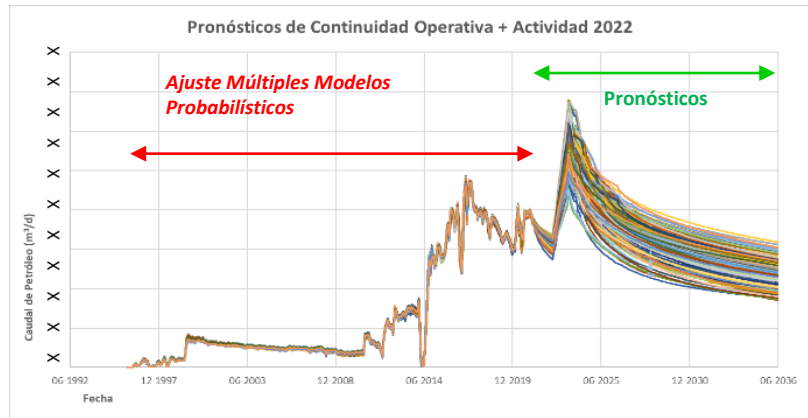
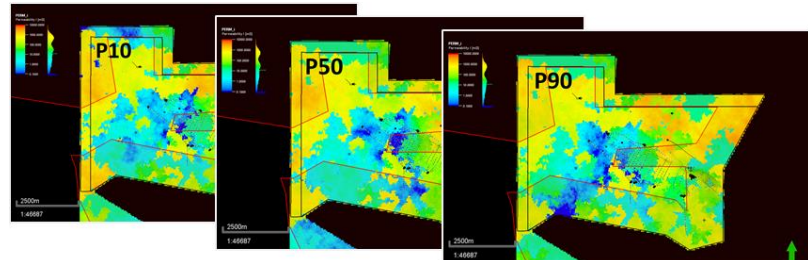


# Hoja de Ruta

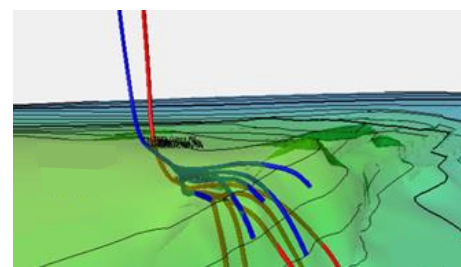
Se caracterizaron los fluidos en condiciones de fondo mediante **EOS**, y se utilizó un **simulador composicional térmico**. Se obtienen **modelos dinámicos representativos** con un ajuste probabilístico para la zona desarrollada con un proceso **interdisciplinario y circular**



- Los pronósticos en la zona de **avanzada** están basados en **diferentes escenarios equiprobables**.

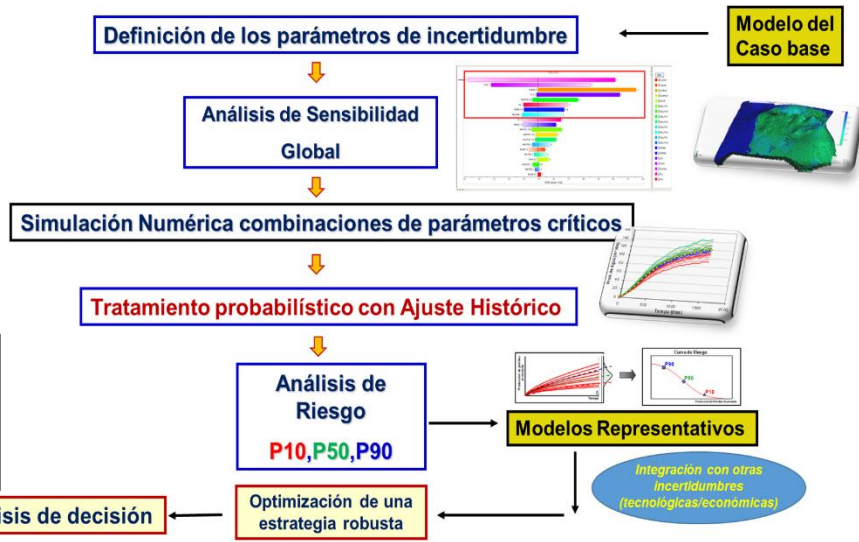
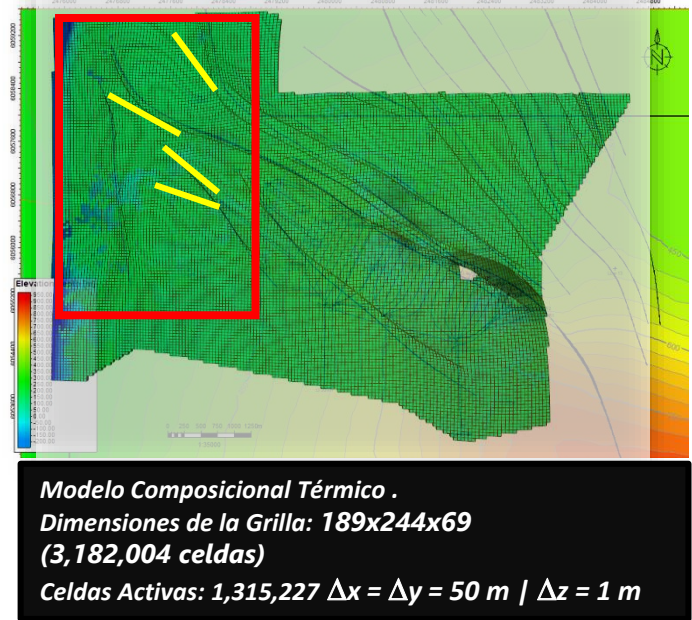
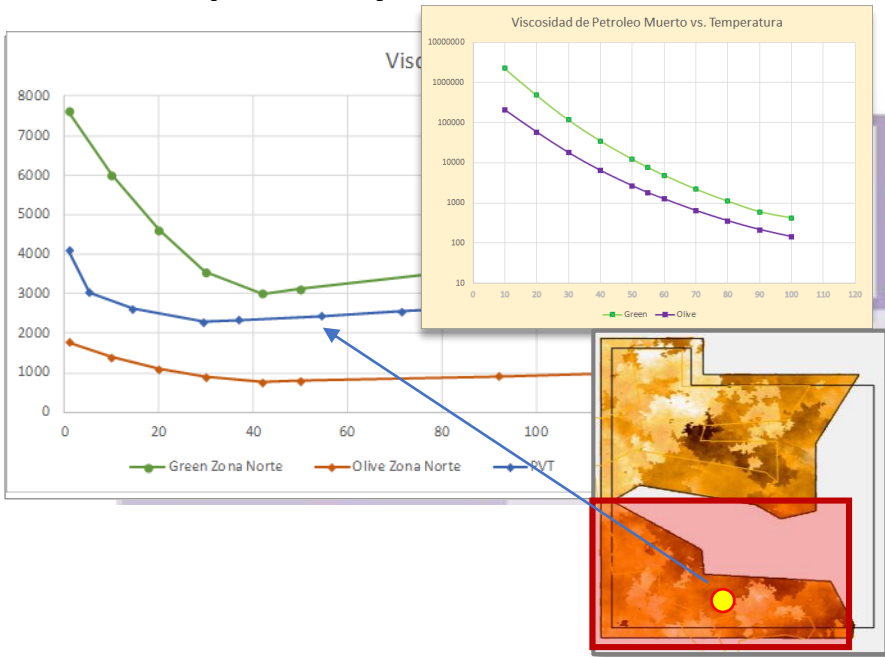


- Finalmente se realizó una **optimización robusta** que consistió en proponer **diferentes trayectorias** para cada pozo.

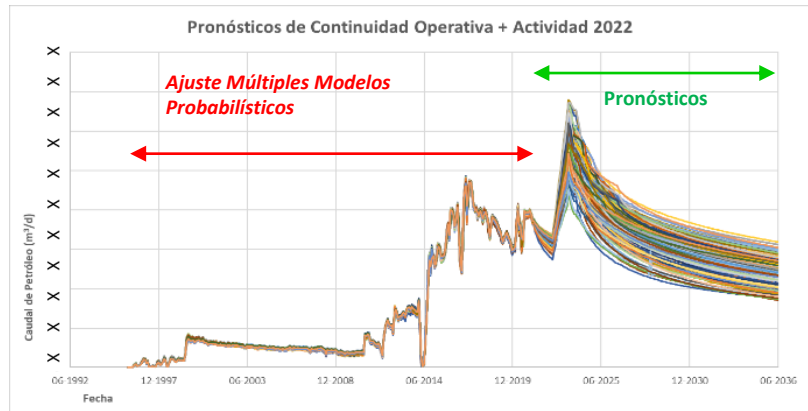
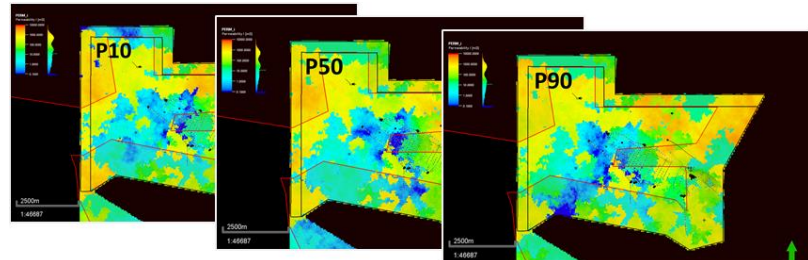


# Hoja de Ruta

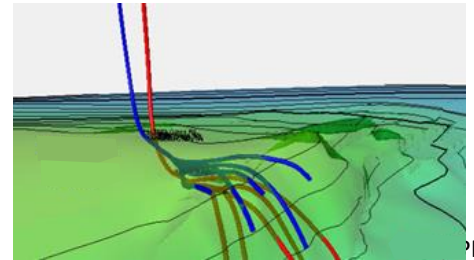
Se caracterizaron los fluidos en condiciones de fondo mediante **EOS**, y se utilizó un **simulador composicional térmico**. Se obtienen **modelos dinámicos representativos** con un ajuste probabilístico para la zona desarrollada con un proceso **interdisciplinario y circular**



- Los pronósticos en la zona de **avanzada** están basados en **diferentes escenarios equiprobables**.

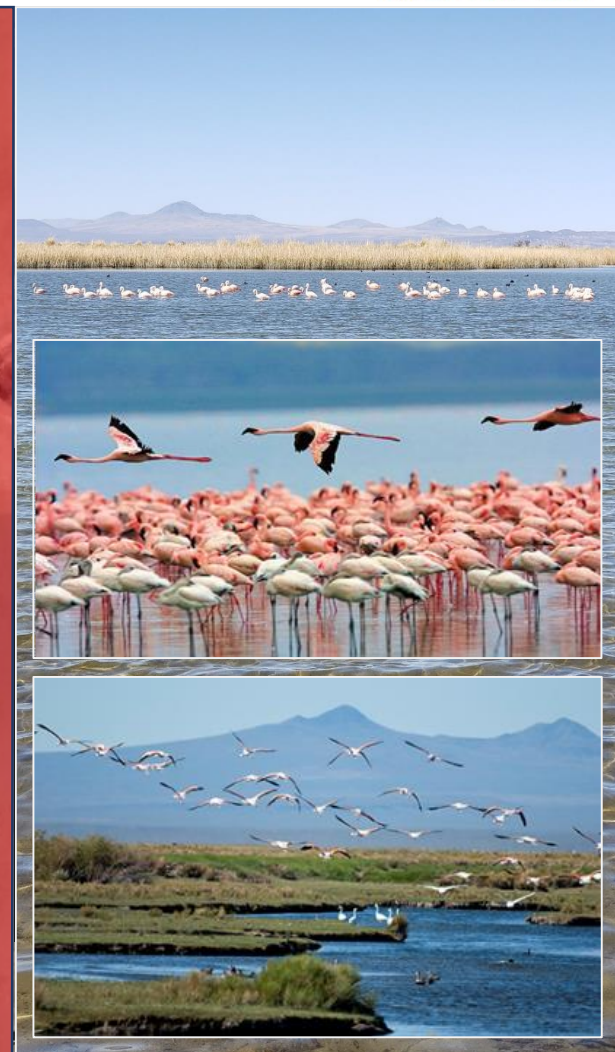
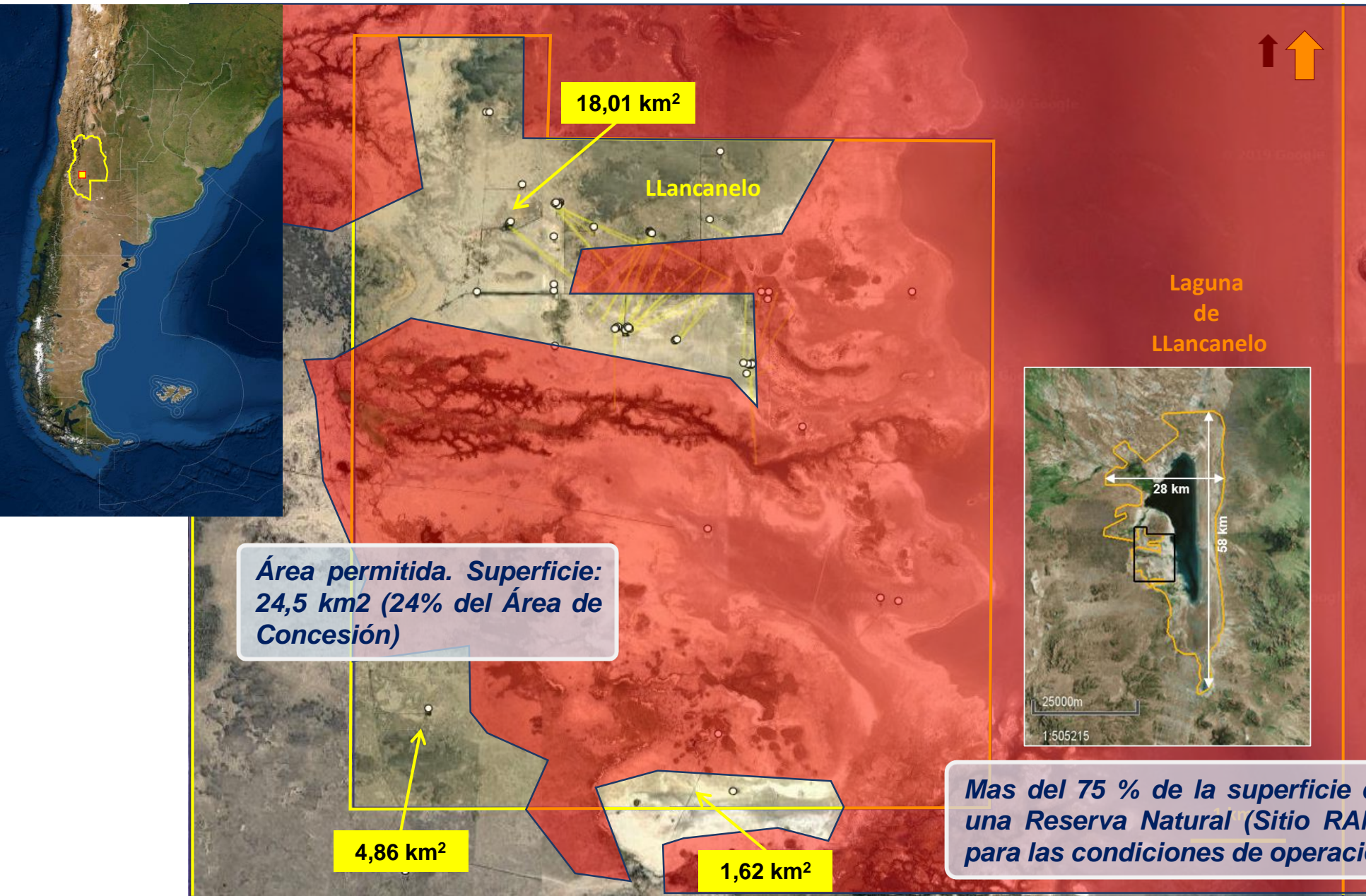


- Finalmente se realizó una **optimización robusta** que consistió en proponer **diferentes trayectorias** para cada pozo.





# Ubicación e Información General

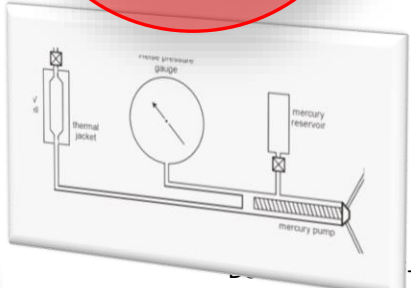
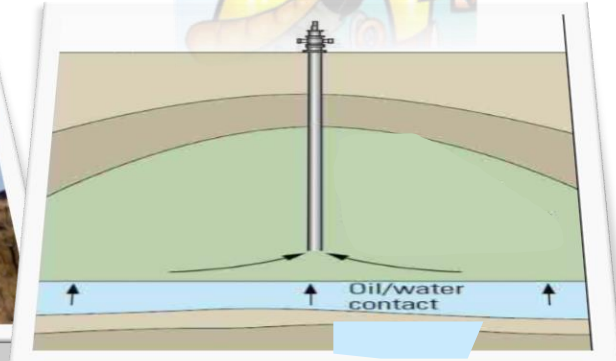


**Mas del 75 % de la superficie del Yacimiento se encuentra en una Reserva Natural (Sitio RAMSAR) con altas restricciones para las condiciones de operación (hasta 600 m de profundidad)**



# Desafíos del Yacimiento

- **Petróleo pesado a extra-pesado** (12° API, 10,000 cP en superficie).
- **Calentamiento de las instalaciones de producción y transporte** para asegurar movilidad por la alta viscosidad del crudo.
- **No se cuenta con sísmica 3D.** Alta incertidumbre geológica.
- **Carencia de muestras PVT** representativas de la zona en desarrollo.
- Mecanismo de drenaje: **expansión monofásica.** Bajo GOR (<10 m3/m3).





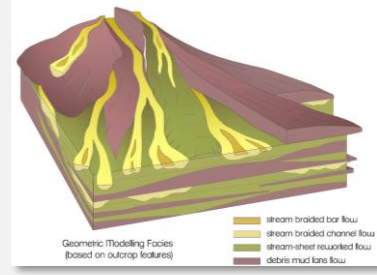
# Marco Geológico General

Ubicado en una zona de **borde de cuenca** en el sector norte de la Cuenca Neuquina

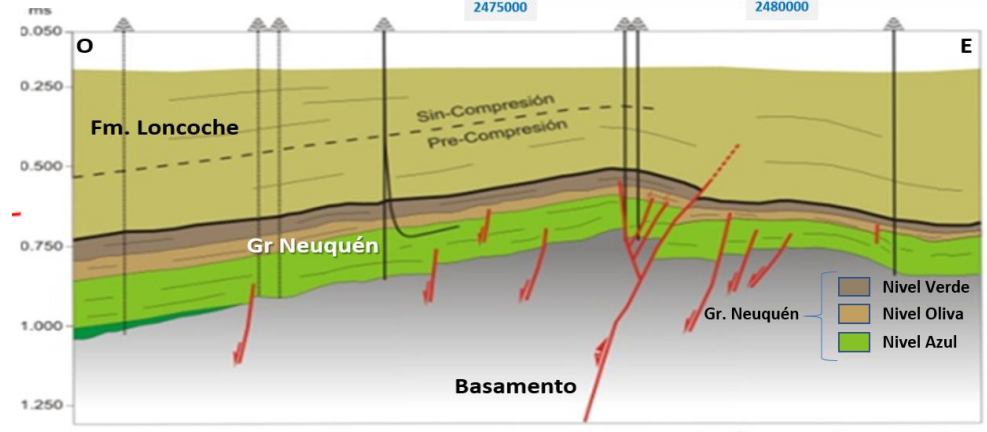
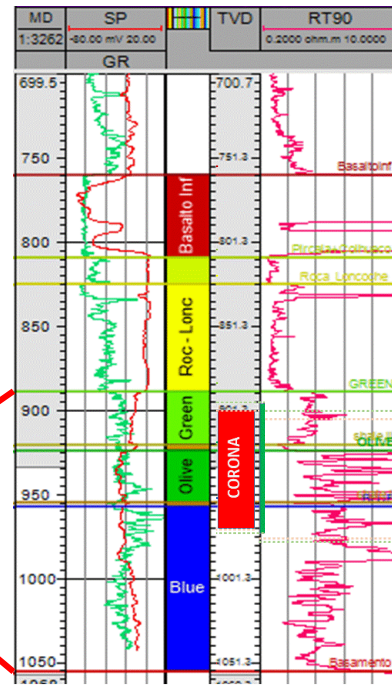
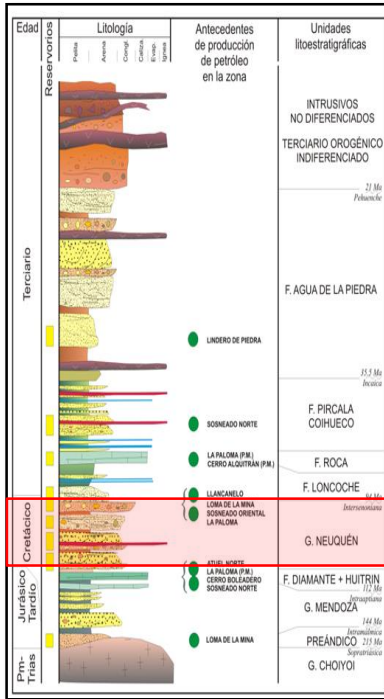
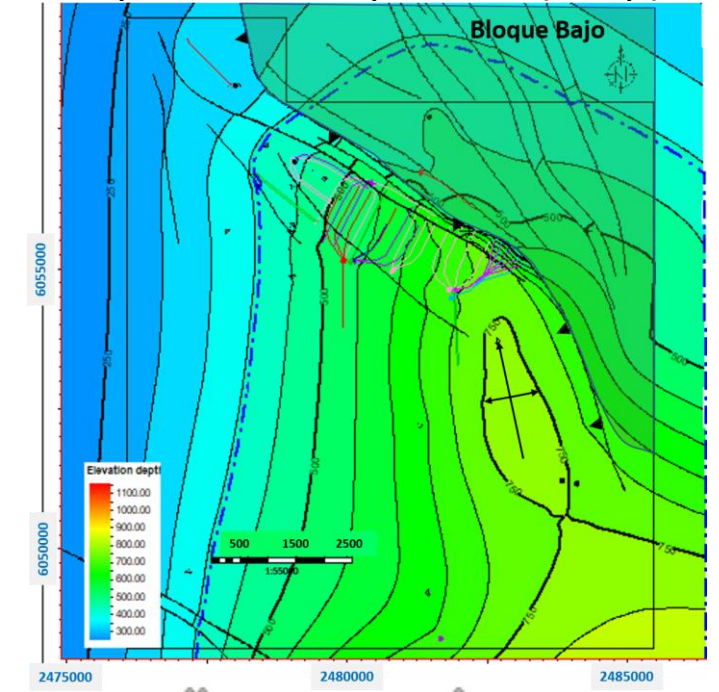
Las formaciones del **"Grupo Neuquén"** constituyen el reservorio



Depósitos sedimentarios interpretados como de **abanico aluvial dominado por flujos de detritos**, intercalados con pequeños espesores (muy subordinados), asociados a **flujos hiper-concentrados**



Mapa Estructural al Tope de Green (Gr. Nqn)

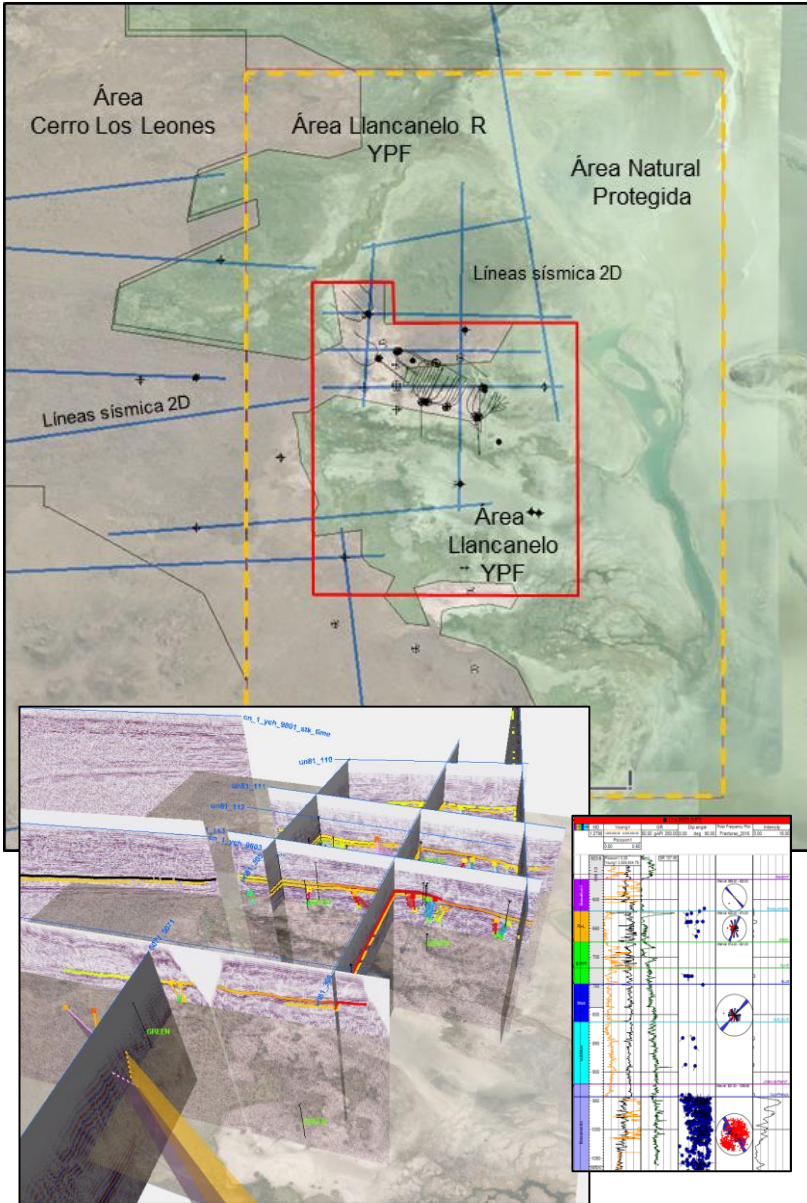


Falla principal



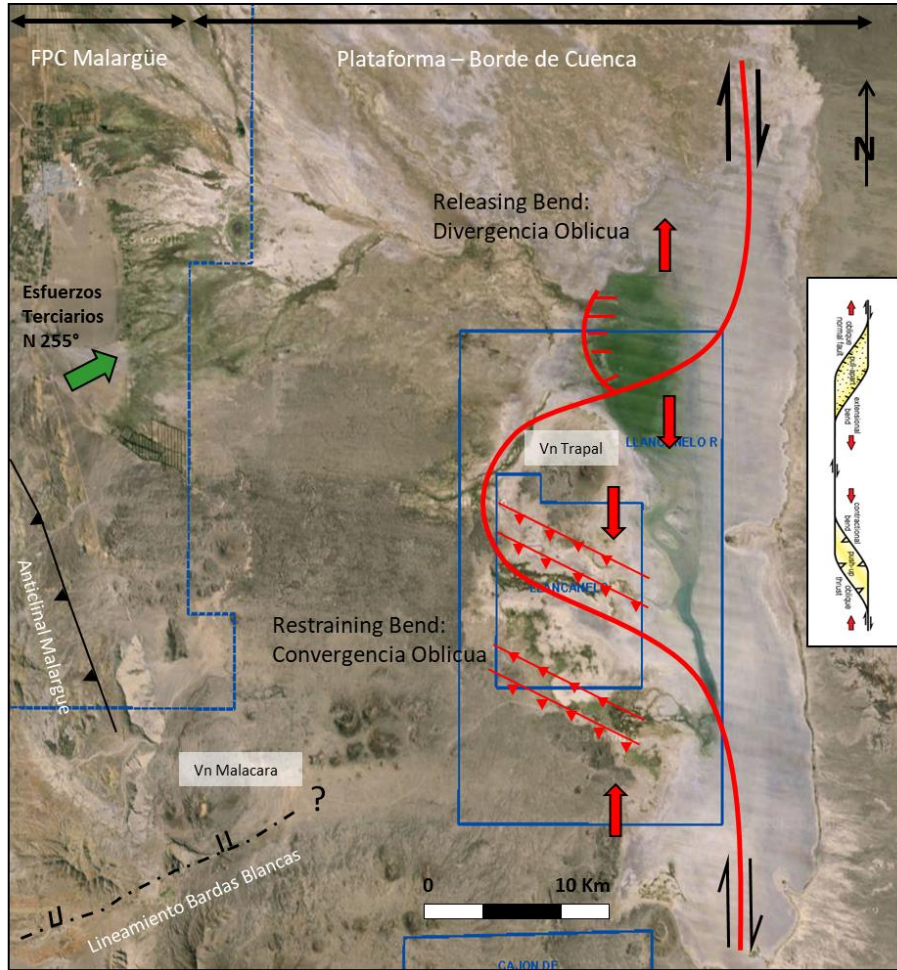
# Marco Estructural

## Información disponible



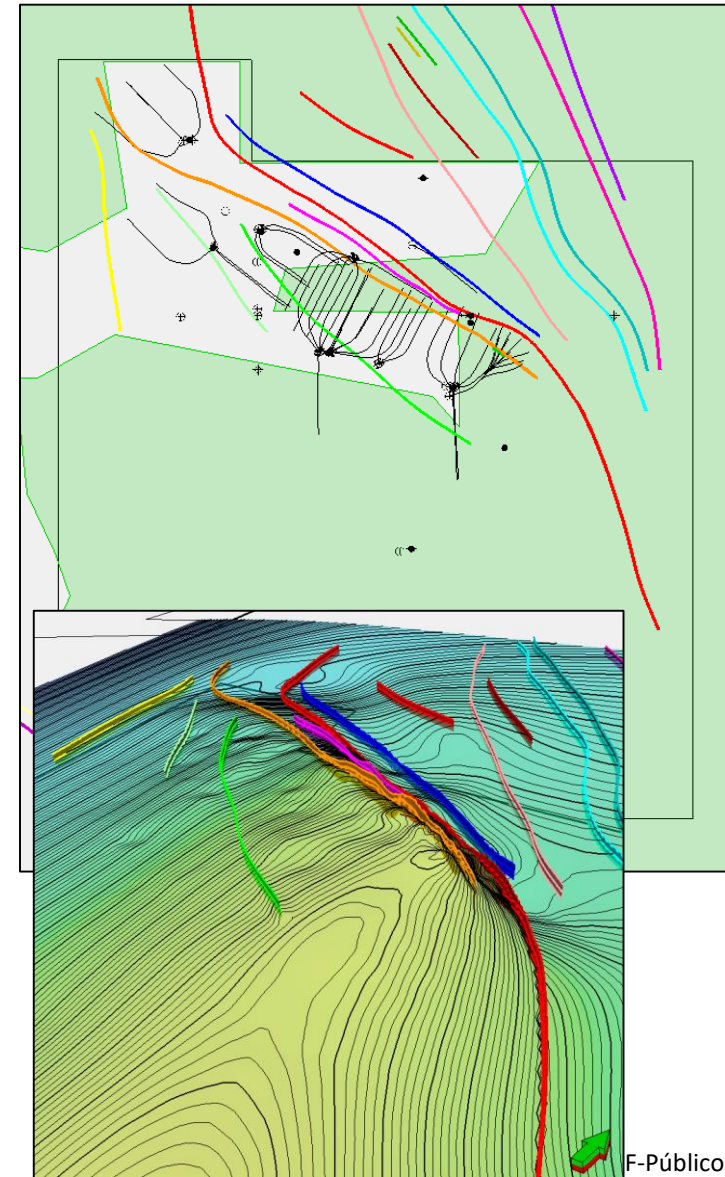
## Modelo Tectónico Regional

### Modelo Paired Bend



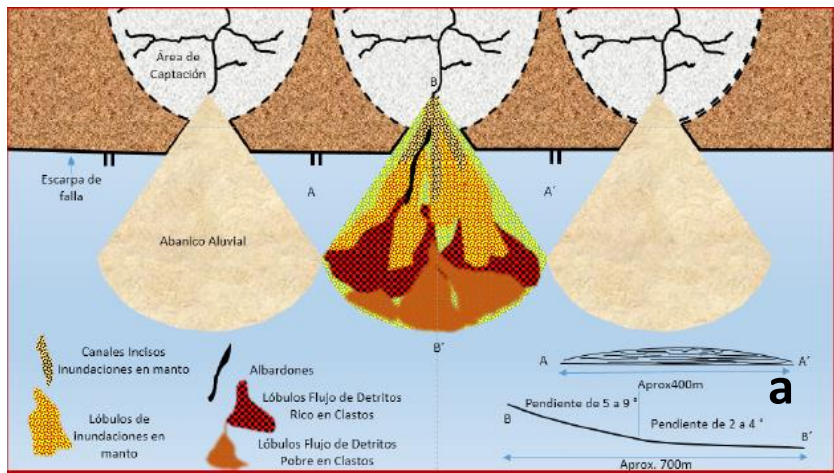
El modelo interpretado de **“Paired Bend”** explica el alto de Llanquihue y Cerro Pozo como una zona localmente compresiva y el bajo de la Laguna Llanquihue en una zona localmente extensiva, generadas por una falla de rumbo dextral y geometría curva. El rechazo de la falla principal varía entre 140 y 70 metros

## Modelo estructural

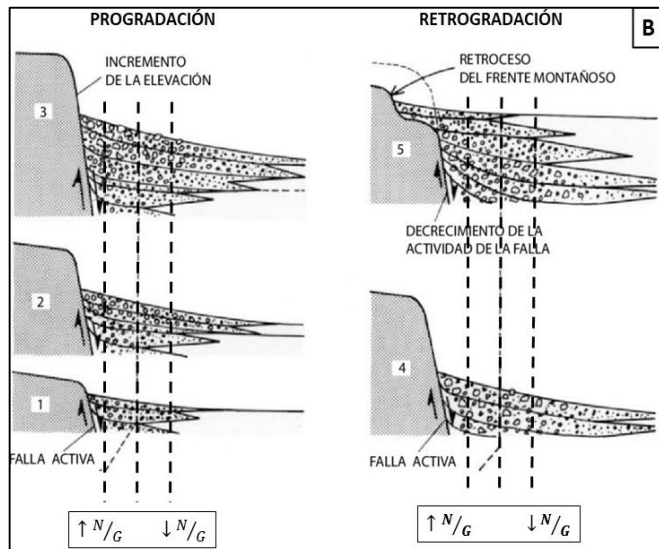
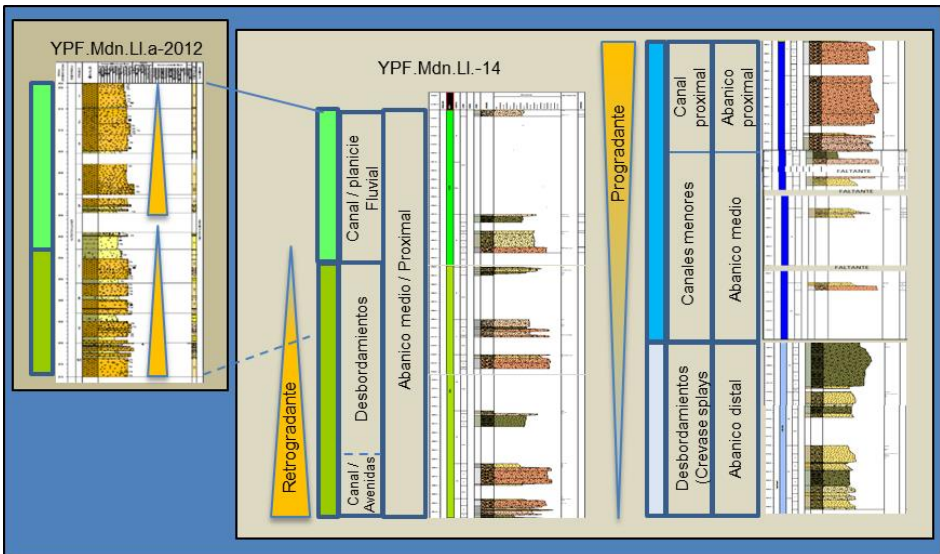




# Desarrollo – Interpretación Paleambiental



En función de las facies y asociación de facies, tamaño y límites de cuerpos, y estructuras sedimentarias observadas y descritas, se asocia que el paleoambiente de depositación del Grupo Neuquén en el área de Llanquanello corresponde a un **abanico aluvial fuertemente dominado por flujos de detritos**, intercalados estos por pequeños espesores (muy subordinados), que se pueden asociar a flujos hipeconcentrados.

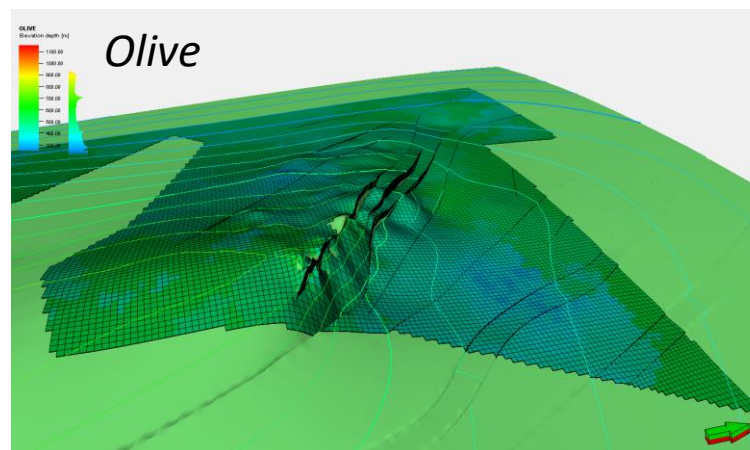
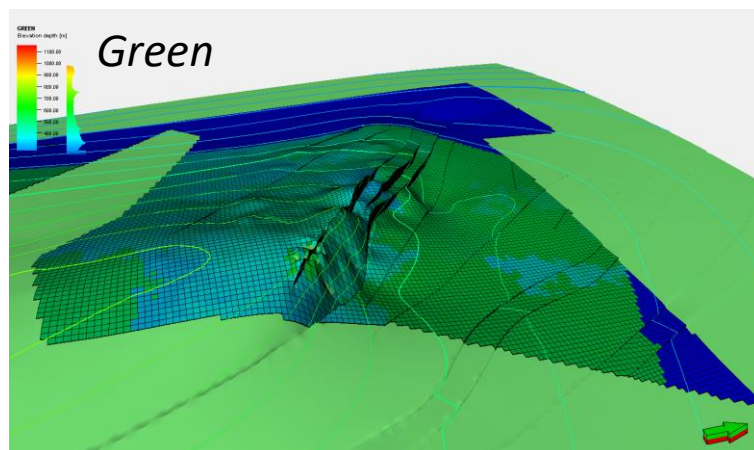


Posibles Análogos de Afloramientos modernos, variando conceptos y tamaños:

- Arroyo Las Aucas, río Diamante – Mendoza
- Faldeo Oriental Sierra del Cajón o de Quilmes – Catamarca-Tucumán.
- Pedemonte al sur de Precordillera, en cercanías de la Ciudad de Mendoza – Mendoza.



# Modelo Estático – Poblado de Propiedades y Geo-Realizaciones



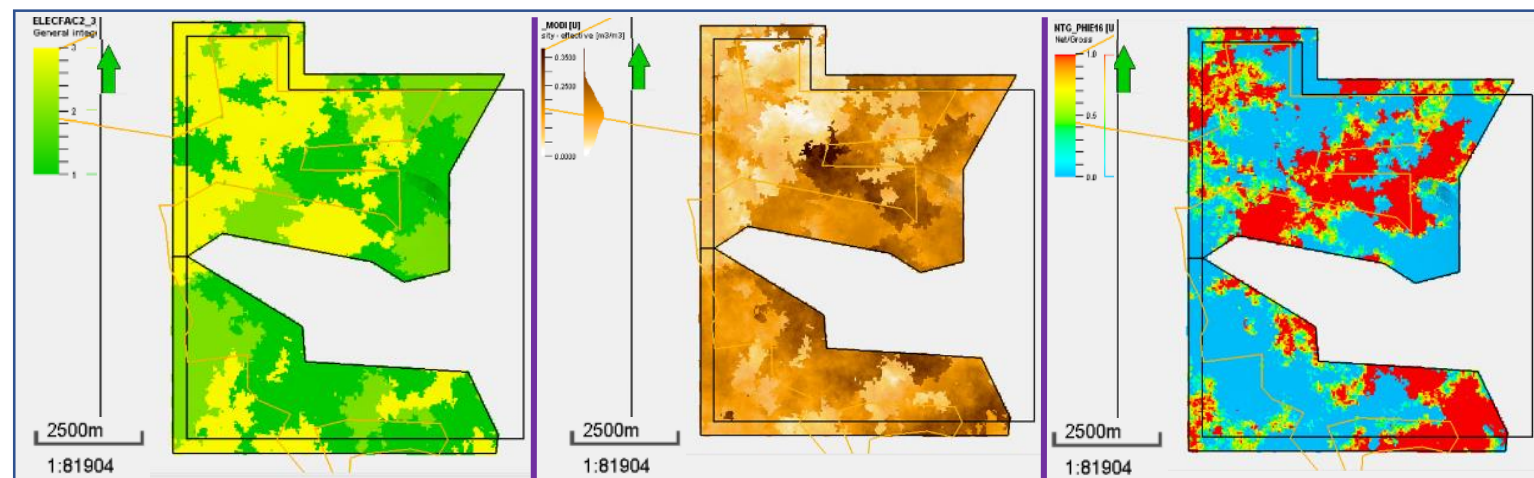
Dada la escasa información sísmica disponible, las superficies fueron construidas fundamentalmente a partir de la **información obtenida en los pozos**.

La grilla se construyó con celdas de **50 m x 50 m x 1 m**, con el método de **Pillar Gridding**.

De la **interpretación de litofacies perfiles y coronas se identifican** cuatro litofacies de conglomerados de soporte clástico y de matriz.

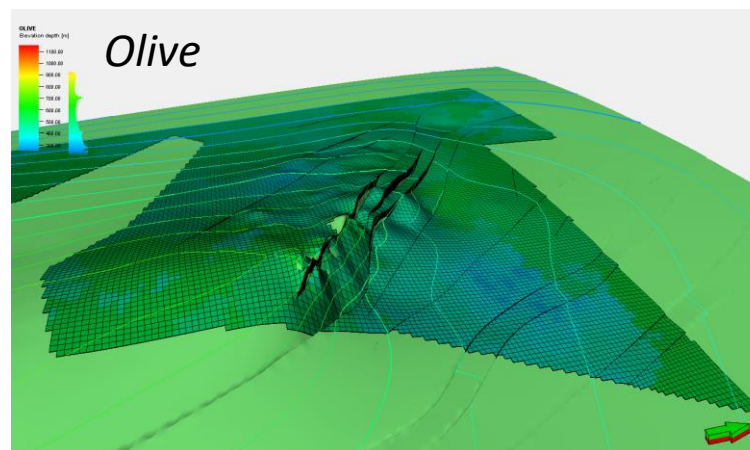
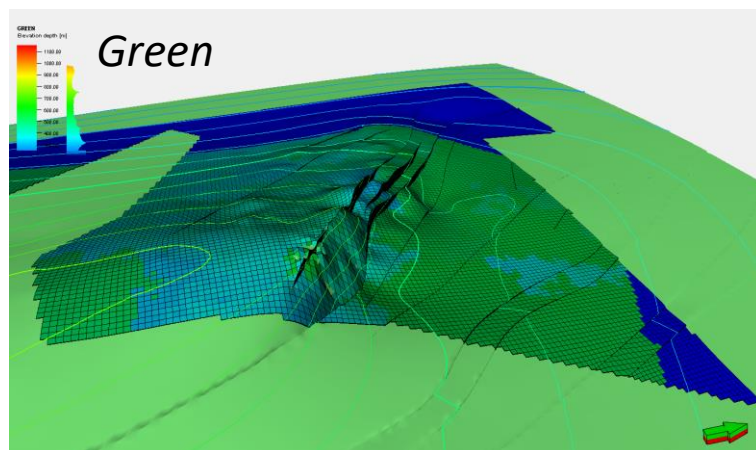
Se realizó un **Upscaling de Petrofacies** comprenden 3 facies (reservorio alta calidad, media calidad y no reservorio). Extendido en la grilla del modelo por el método de **Krigging**.

- La **Porosidad Efectiva** fue guiada mediante un proceso **condicionado al modelo de facies**.
- El escalado de **NTG** se hizo como una propiedad continua para permitir mayor conectividad hidráulica, propagada también **condicionado al modelo de facies**.





# Modelo Estático – Poblado de Propiedades y Geo-Realizaciones



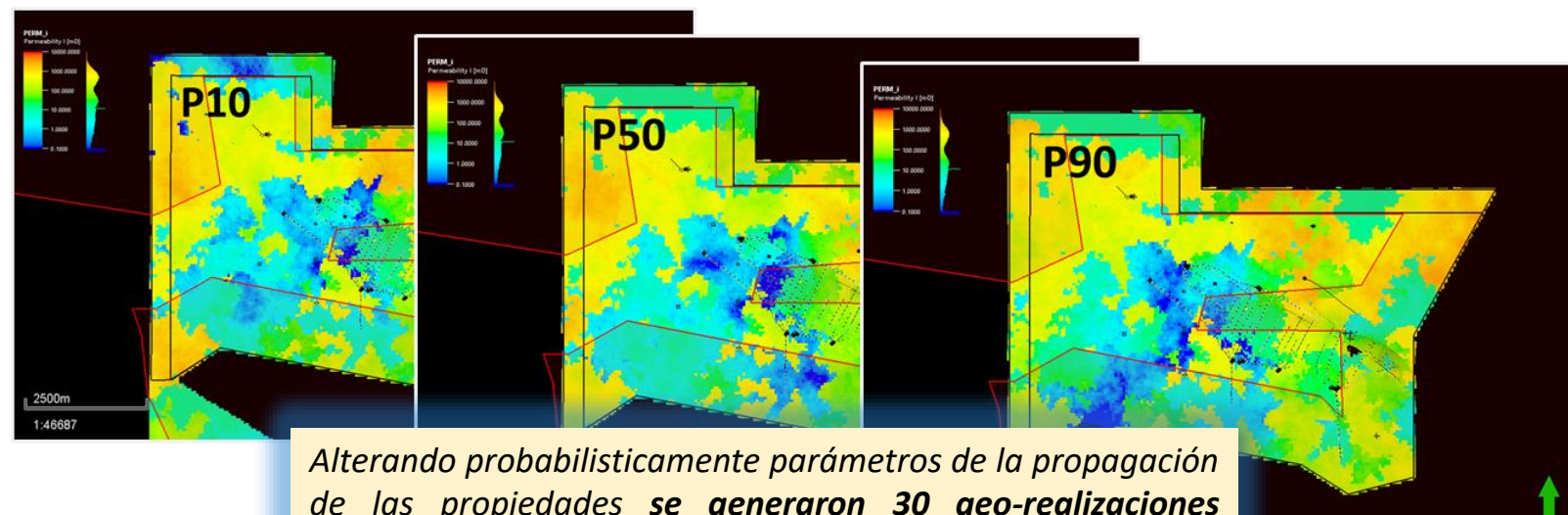
Dada la escasa información sísmica disponible, las superficies fueron construidas fundamentalmente a partir de la **información obtenida en los pozos**.

La grilla se construyó con celdas de **50 m x 50 m x 1 m**, con el método de **Pillar Gridding**.

De la **interpretación de litofacies perfiles y coronas se identifican** cuatro litofacies de conglomerados de soporte clástico y de matriz.

Se realizó un **Upscaling de Petrofacies** comprenden 3 facies (reservorio alta calidad, media calidad y no reservorio). Extendido en la grilla del modelo por el método de **Krigging**.

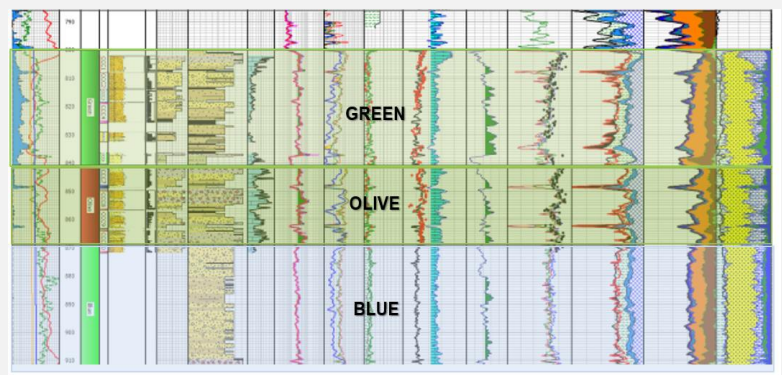
- La **Porosidad Efectiva** fue guiada mediante un proceso **condicionado al modelo de facies**.
- El escalado de **NTG** se hizo como una propiedad continua para permitir mayor conectividad hidráulica, propagada también **condicionado al modelo de facies**.



*Alterando probabilísticamente parámetros de la propagación de las propiedades se generaron **30 geo-realizaciones equiprobables** para incorporar la incertidumbre geológica, sobre todo en las zonas de avanzada*

# Inicialización del Modelo – Caso Base

En la formación se diferencian tres niveles independientes: Green y Olive. con potencial económico y con efectos de BIODEGRADACION



**Presión capilar obtenida por ensayos estados restaurados** sobre 48 plugs de corona en diversas calidades. Desde la descripción de facies litológicas de las muestras, se obtuvo una **Curvas Representativas** para cada grupo de petrofacies identificadas en cada formación:

**Calidad alta y media, en niveles Olive y Green por separado, y una curva común para facies de mala calidad en ambos niveles**

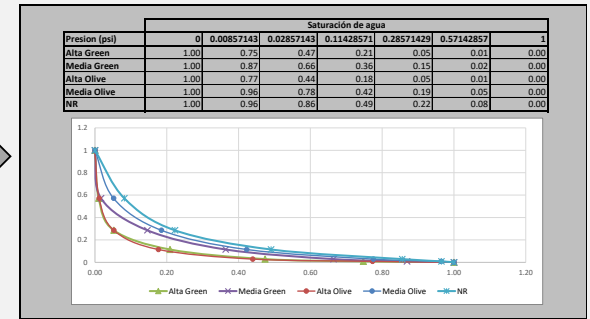
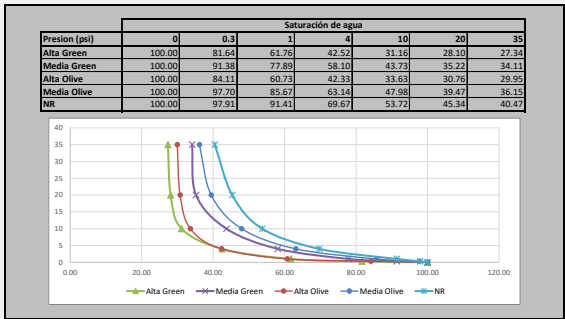
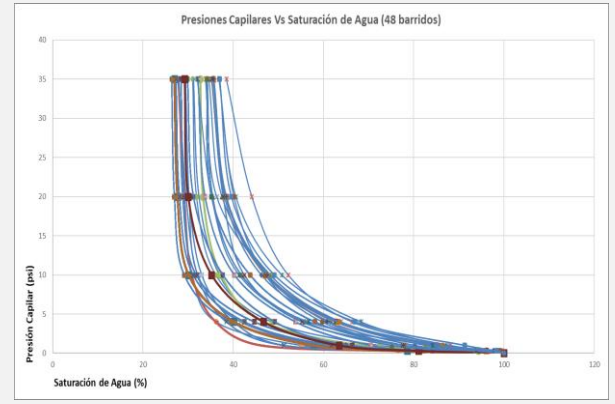
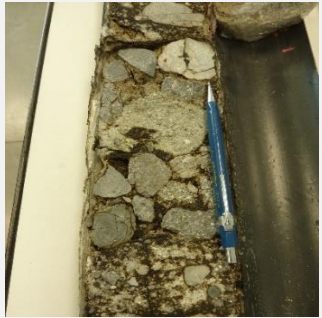
## Cinco Litofacies

- a. Conglomerados de soporte clástico impregnados
- b. Conglomerados de soporte clástico SIN impregnación
- c. Conglomerados de soporte de matriz impregnación
- d. Conglomerados de soporte de matriz SIN impregnación
- e. Arenisca mal seleccionada SIN impregnación (Sello)

Clast Support

Matrix Support

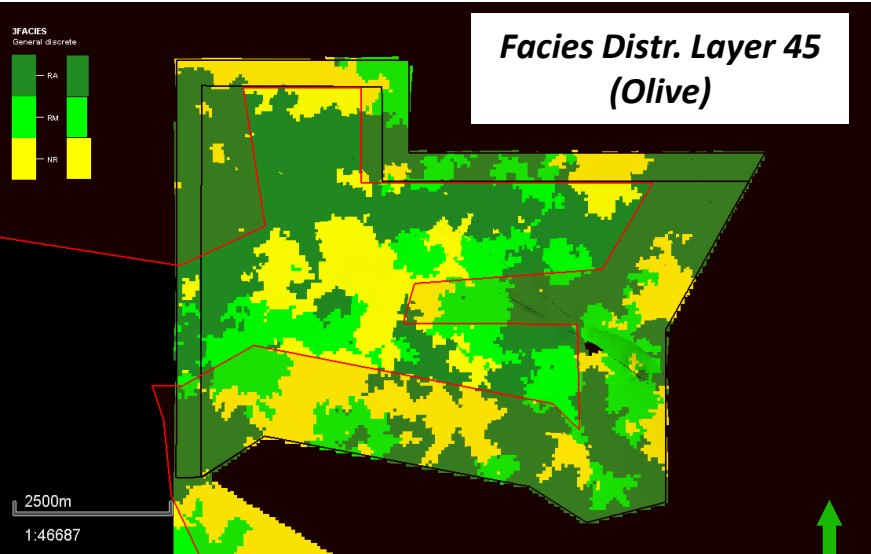
Seal



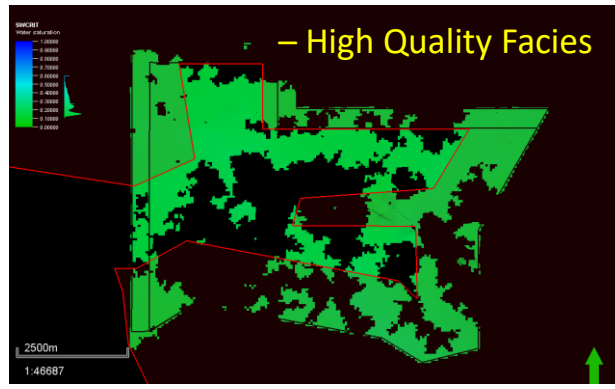
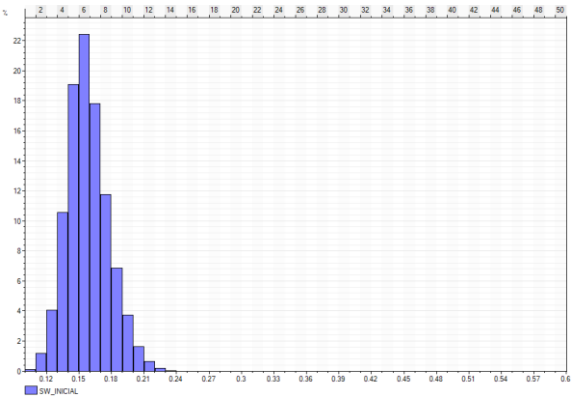
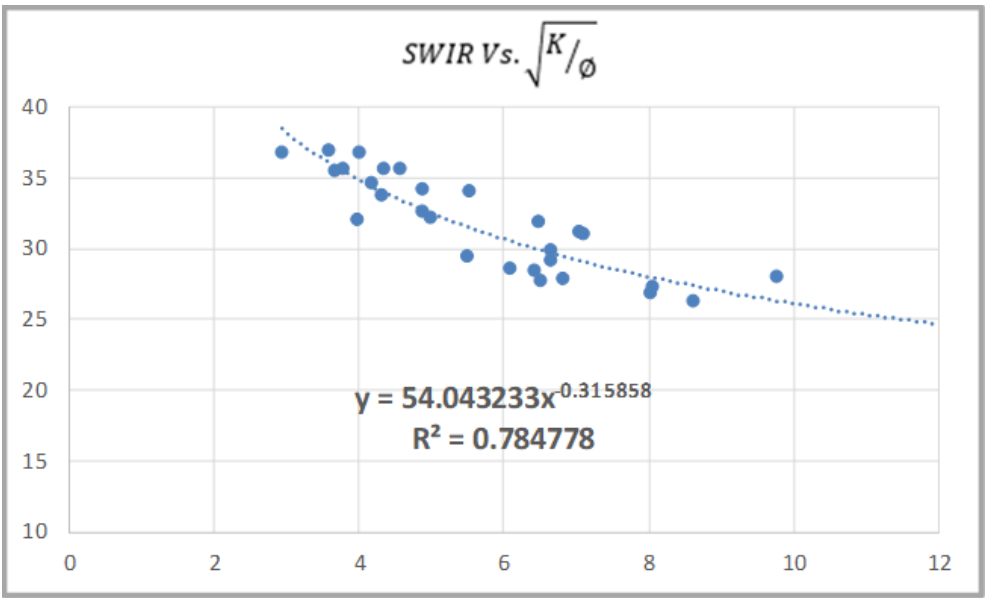


# Inicialización del Modelo – Caso Base

**Distribución de SWIR por Facies:** Se incorporan zonas de transición utilizando la correlación para distribuir Swi en cada celda en función de la **relación K/phi** e incorporando al modelo las curvas de presión capilar según la petrofacies asignada. **Zonas de transición variables, en función de la calidad del reservorio**



Correlación entre la saturación de agua irreductible vs. la raíz cuadrada del cociente entre permeabilidad y porosidad:



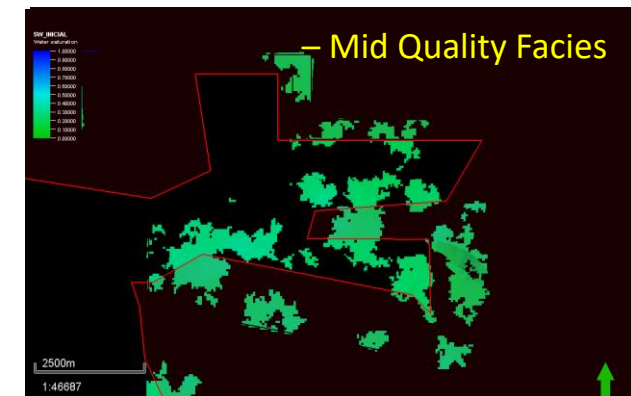
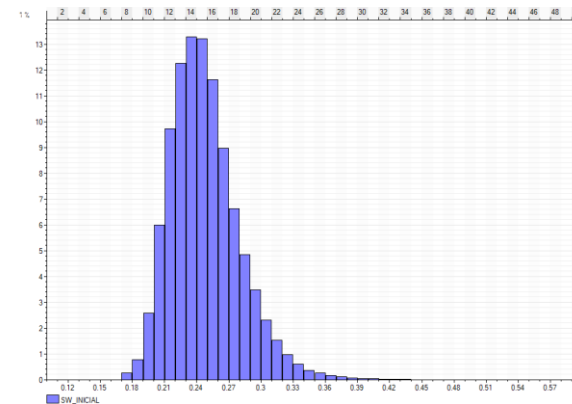
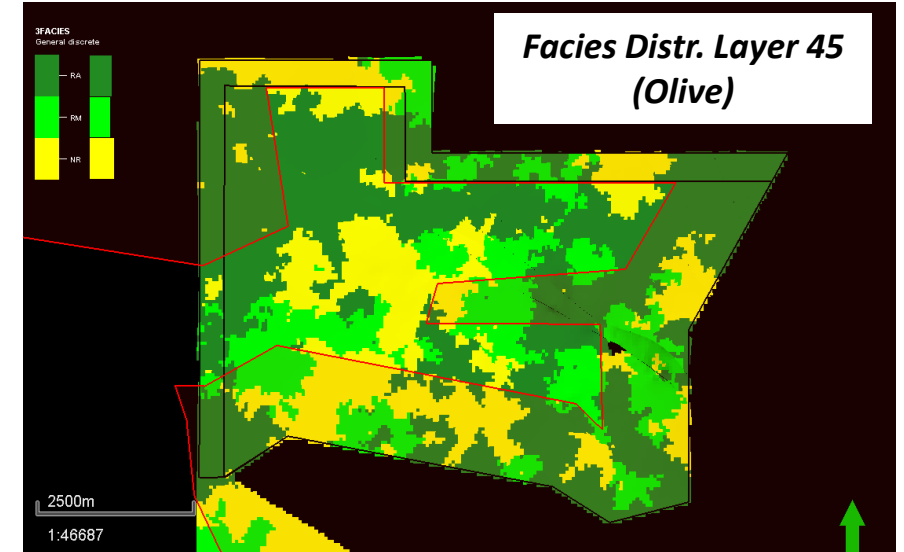
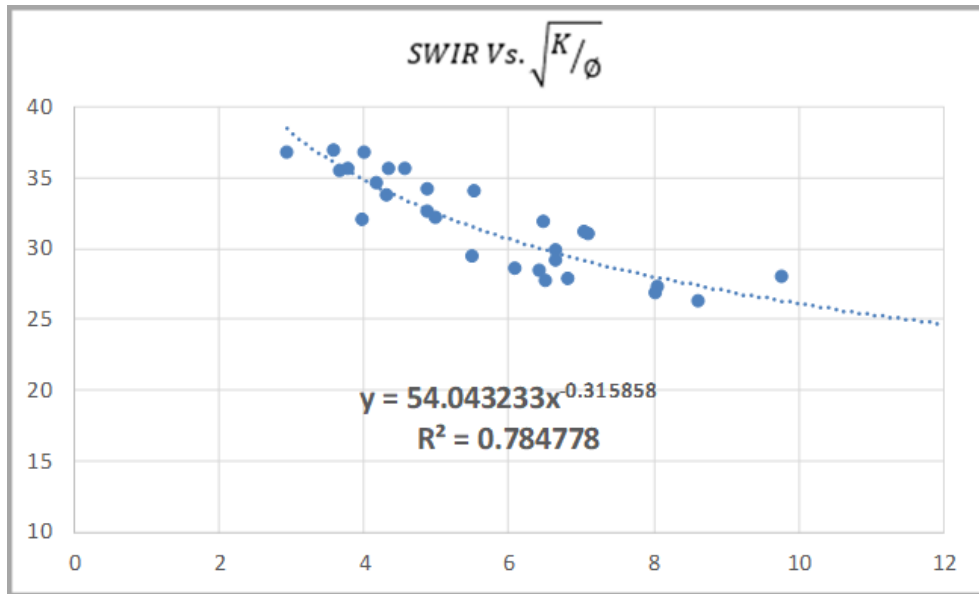
Saturación Irreductible - (Full Grid Distribution)



# Inicialización del Modelo – Caso Base

**Distribución de SWIR por Facies:** Se incorporan zonas de transición utilizando la correlación para distribuir Swi en cada celda en función de la **relación K/phi** e incorporando al modelo las curvas de presión capilar según la petrofacies asignada. **Zonas de transición variables, en función de la calidad del reservorio**

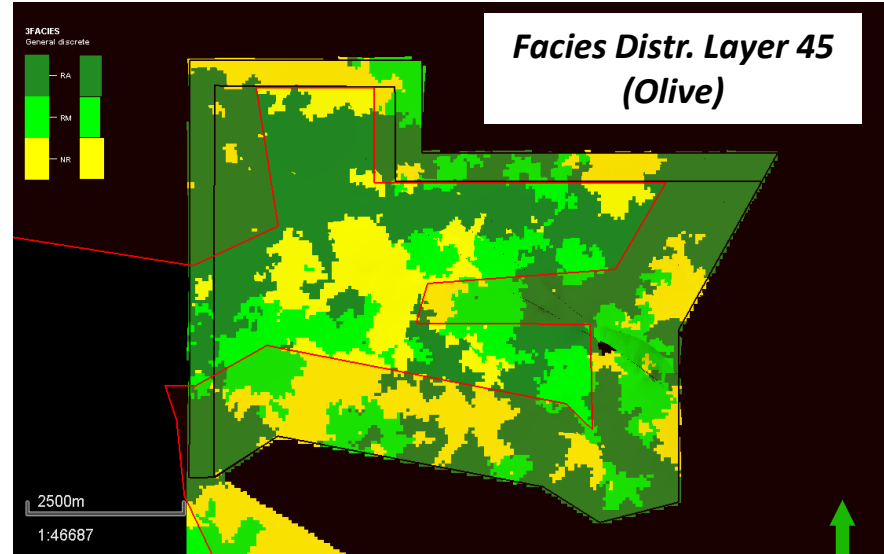
Correlación entre la saturación de agua irreductible vs. la raíz cuadrada del cociente entre permeabilidad y porosidad:



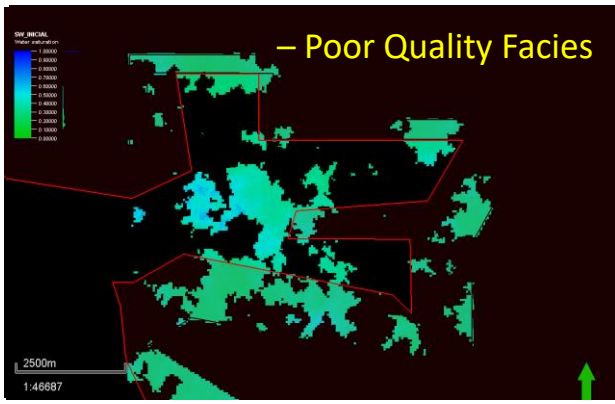
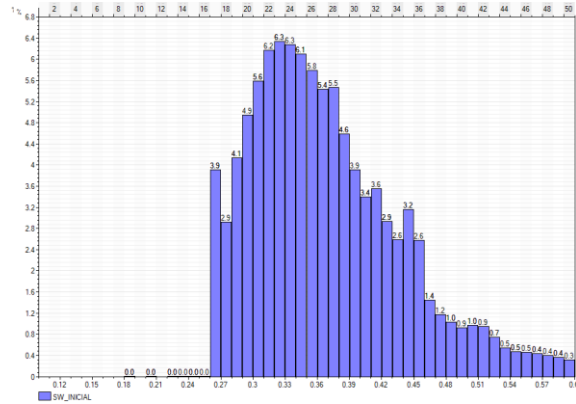
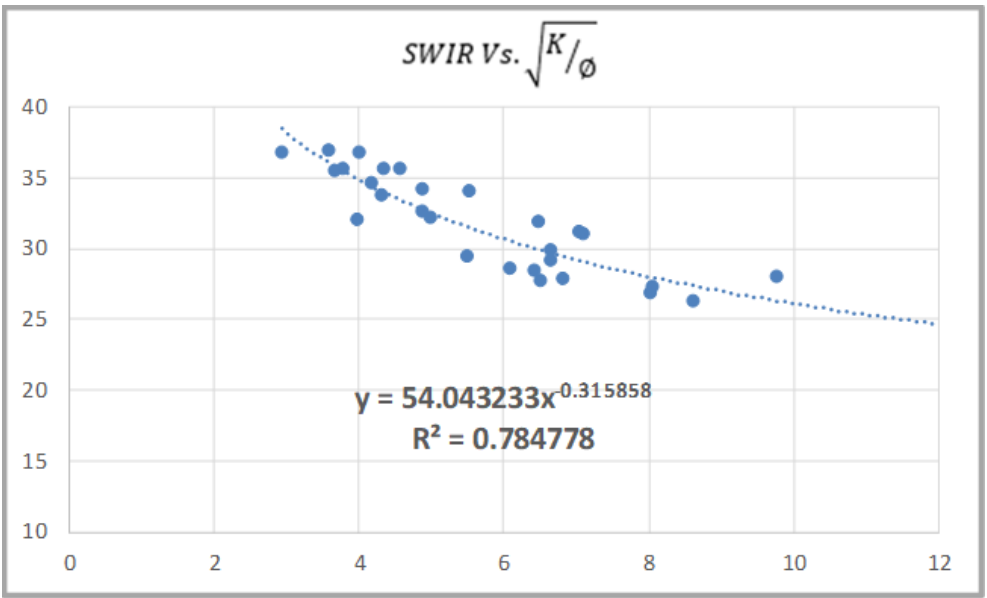
Saturación Irreductible - (Full Grid Distribution)

# Inicialización del Modelo – Caso Base

**Distribución de SWIR por Facies:** Se incorporan zonas de transición utilizando la correlación para distribuir Swi en cada celda en función de la **relación K/phi** e incorporando al modelo las curvas de presión capilar según la petrofacies asignada. **Zonas de transición variables, en función de la calidad del reservorio**



Correlación entre la saturación de agua irreductible vs. la raíz cuadrada del cociente entre permeabilidad y porosidad:

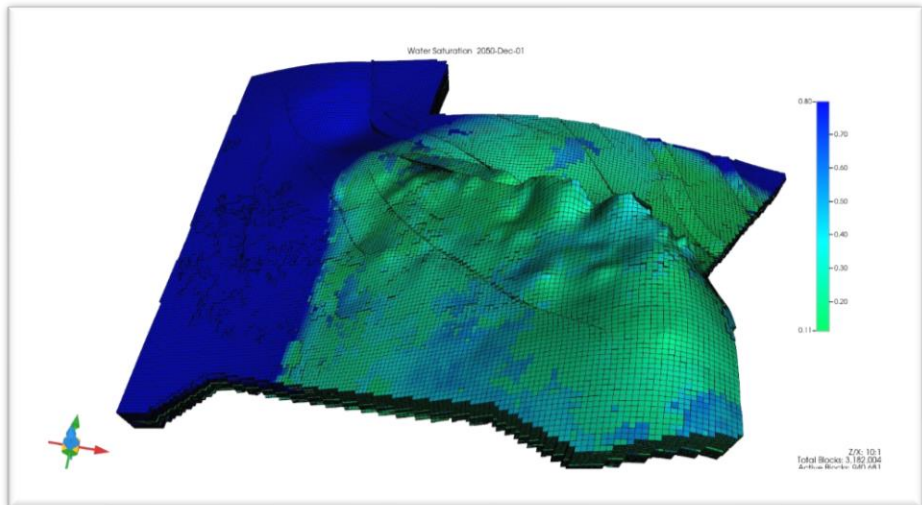
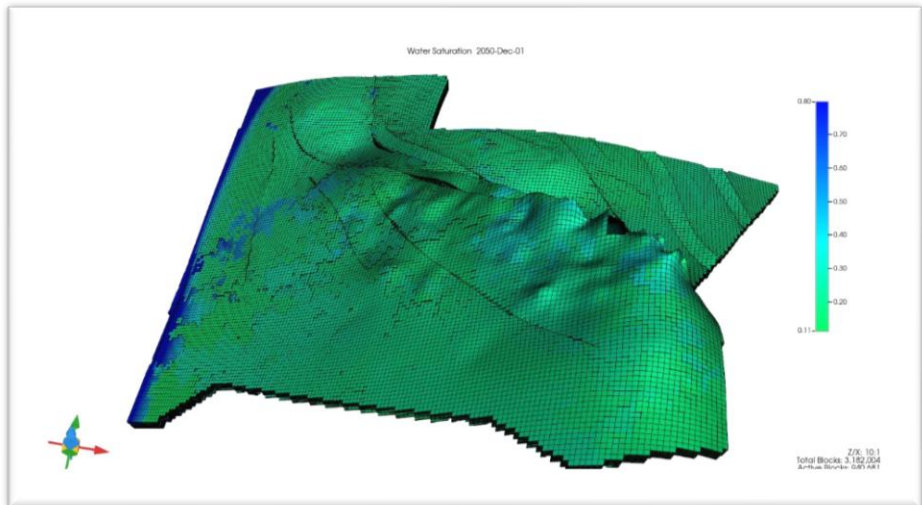
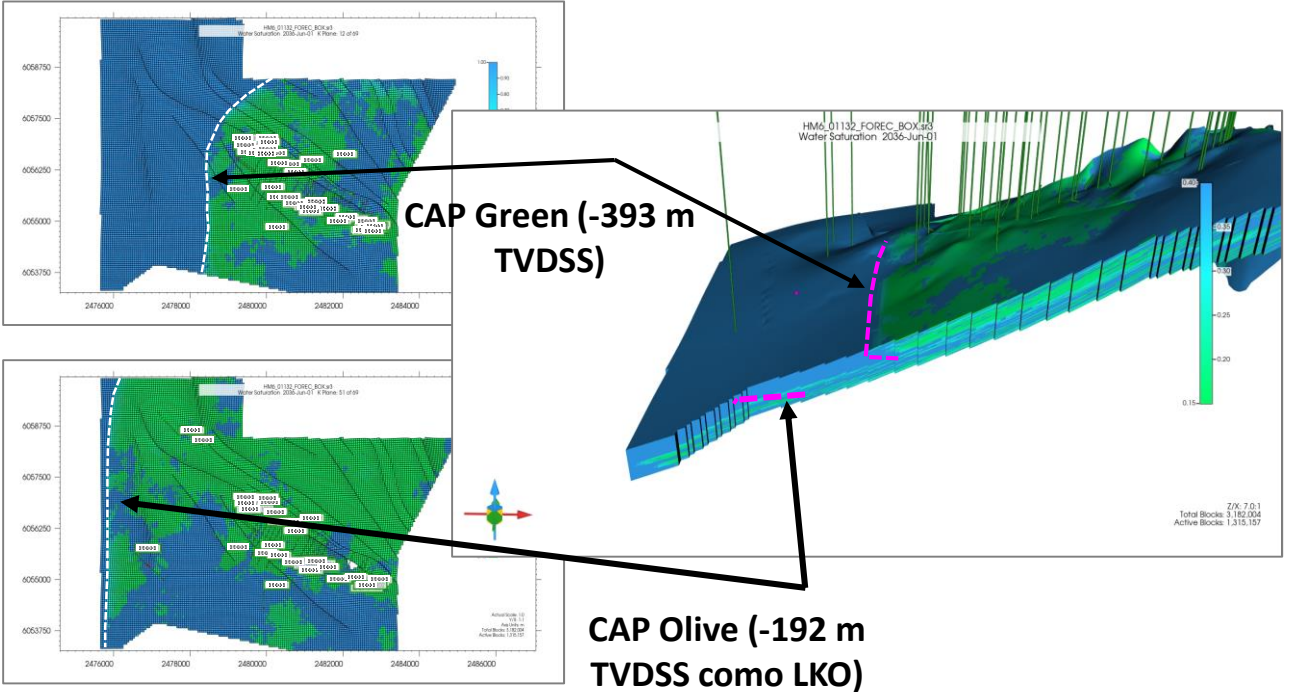


Saturación Irreductible - (Full Grid Distribution)



# Inicialización del Modelo – Caso Base

**Distribución de SWIR por Facies:** Se incorporan zonas de transición utilizando la correlación para distribuir Swi en cada celda en función de la **relación K/phi** e incorporando al modelo las curvas de presión capilar según la petrofacies asignada. **Zonas de transición variables, en función de la calidad del reservorio**



# Modelo de Fluido validado con Ecuación de Estado

Ajuste de Ecuación de Estado con simulador termodinámico Winprop con composición de fondo reconstituida, reproduciendo los ensayos PVT disponibles (LL-7) con diferentes viscosidad de fondo en los niveles Green y Olive.

Define lumping scheme in grid below

Number of lumped components:

No.	Component	1st composition	2nd composition	Scheme
1	N2	0.666	0.0	1
2	CH4	18.093	0.0	1
3	C2H6	0.406	0.0	1
4	C3H8	0.094	0.0	1
5	IC4	0.051	0.0	1
6	NC4	0.049	0.0	1
7	IC5	0.039	0.0	1
8	NC5	0.039	0.0	1
9	FC6	1.043	0.0	2
10	C7+	79.52	0.0	2

```

*****
*                               *
*           WINPROP 2019.10      *
*       2019-Aug-28  11:08:49    *
* Computer Modelling Group Ltd., Calgary, Canada *
*                               *
*                               *
Llancanelo 7
Saturation pressure calculation

Equilibrium Properties at  47.642 kg/cm2 and  55.000 deg C
Phase Split: Liquid-Vapour

Peng-Robinson Equations of State
    
```

component	mole percent		
	Feed	Phase01	Phase02
N2toNC5	19.43700	19.43700	100.00000
FC6toC7+	80.56300	80.56300	0.00000

```

*****
*                               *
*           WINPROP 2019.10      *
*       2019-Aug-28  11:08:49    *
* Computer Modelling Group Ltd., Calgary, Canada *
*                               *
*                               *
Llancanelo 7
Ajuste Bo
Differential liberation calculation

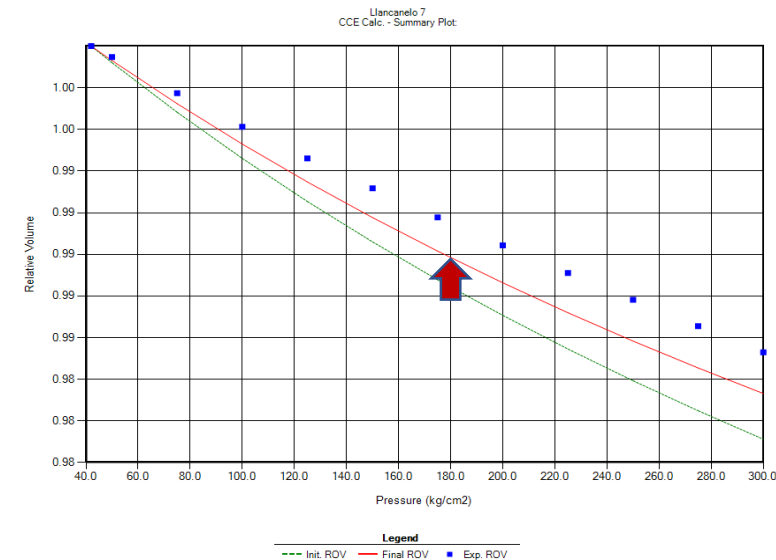
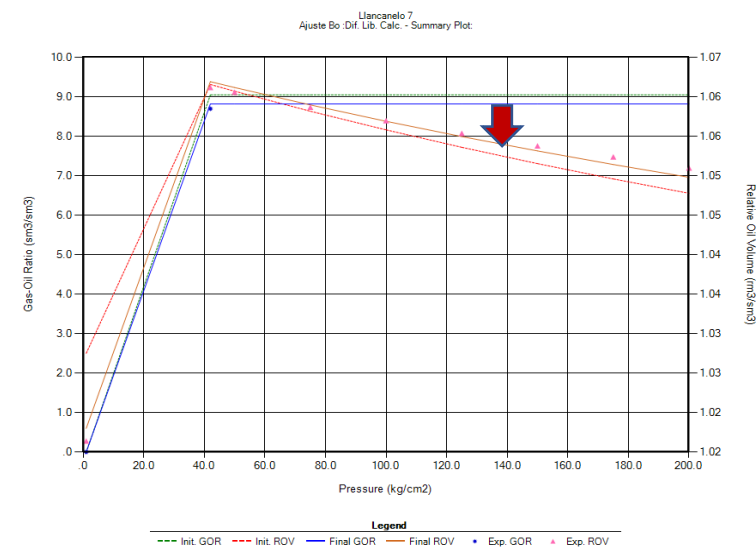
Summary of Differential Vaporization at 55.0 deg C
Initial feed is 1.000E+00 kmol of fluid

component  feed,%
-----
N2toNC5    19.437
FC6toC7+   80.563

pressure,  gas,mole  oil,litre  oil S.G.  oil  solution
kg/cm2     gas,mole  oil,litre  oil S.G.  FVF(1)  GOR (2)
-----
42.00      0.0000    527.4676  0.92521  1.06658  9.05
200.00     0.0000    520.6472  0.93733  1.05279  9.05
175.00     0.0000    521.5502  0.93571  1.05461  9.05
150.00     0.0000    522.5100  0.93399  1.05655  9.05
125.00     0.0000    523.5324  0.93217  1.05862  9.05
100.00     0.0000    524.6241  0.93023  1.06083  9.05
 75.00     0.0000    525.7925  0.92816  1.06319  9.05
 50.00     0.0000    527.0466  0.92595  1.06573  9.05
 1.03     188.9150  510.6196  0.94933  1.03251  0.00
    
```

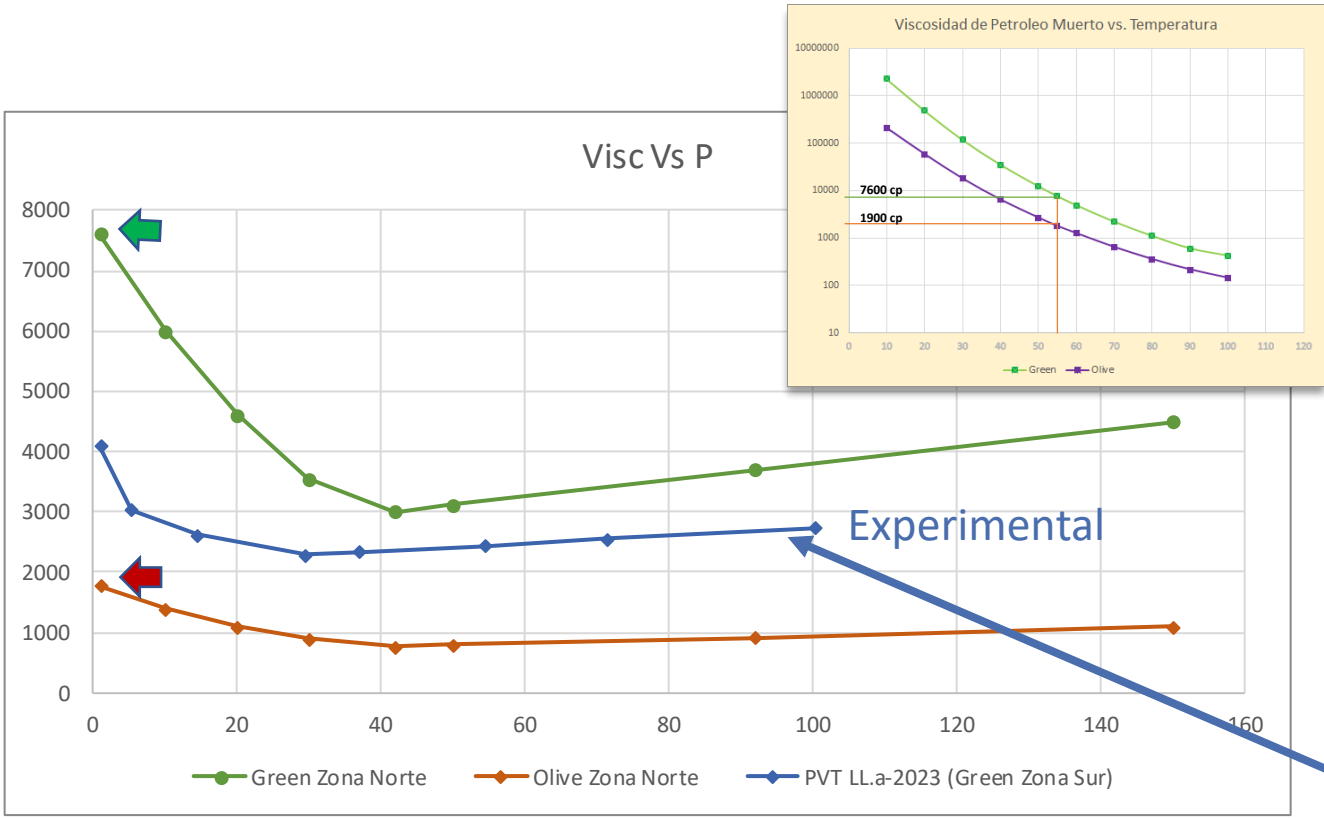
vol of residual oil / vol of saturated oil = 0.9376  
 S.G. of residual oil at 15.6 deg C = 0.9802  
 API gravity of residual oil at 15.6 deg C = 12.9

- (1) FVF: oil formation vol. factor, vol of oil + dissolved gas at indicated P & T / vol residual oil at 15.6 deg C
- (2) cu. m. of gas at 1.03 kg/cm2 15.6 deg C / cu.m of residual oil at 15.6 deg C
- (3) FVF: formation volume factor, vol of gas at indicated P & T per vol at 1.03 kg/cm2 15.6 deg C
- (4) vol of oil and gas at indicated P & T / vol of residual oil at 15.6 deg C



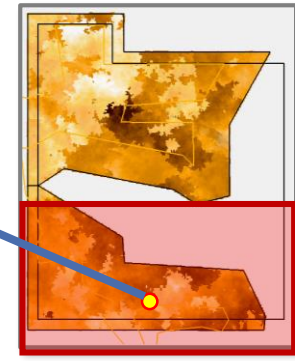


# Modelo de Fluido validado con Ecuación de Estado



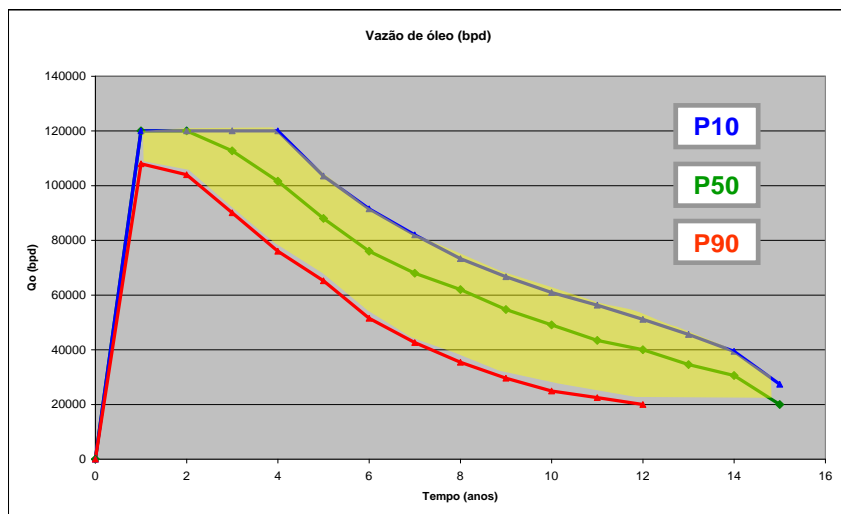
- Partiendo de las **viscosidades de petróleo atmosférico** de cada nivel a 55°C (temperatura media de la zona desarrollada), se construyeron con **correlaciones** las curvas de **viscosidad de petróleo “vivo”** para cada caso.
- **Meses después**, la primer **curva experimental** de viscosidad de petróleo Vs presión medida sobre una muestra representativa del nivel Green mostró resultados **compatibles con el modelo de fluidos** construido

En la zona sur, la muestra de fondo **obtenida** en un pozo de avanzada mostró valores de viscosidad aún más bajos que los considerados para el “Caso Base” en la zona norte en la formación Green



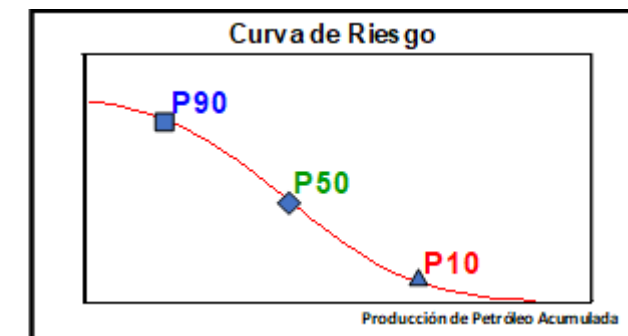
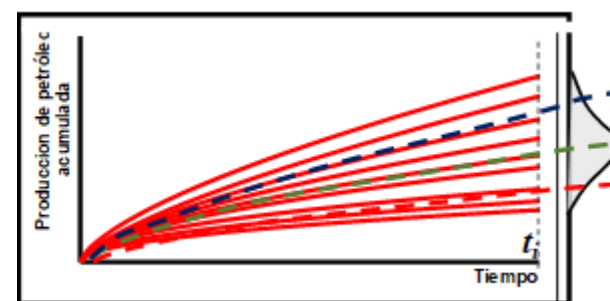
# Incertidumbre vs. Riesgo

- La **incertidumbre** es la falta de conocimiento asociada a los atributos o parámetros de un modelo. Puede entenderse como **la existencia de más de una posibilidad de valores para los parámetros** que componen un Sistema sin poder **asegurar a priori cuál es el valor exacto**.
- El **riesgo** es el **efecto (positivo o negativo) en una elección** incorporando **las incertidumbres críticas** del proyecto. Por ejemplo, la efectividad del **barrido por inyección de agua** es una incertidumbre que depende de varios parámetros **del sistema formación-fluido** y el **avance o llegada temprana del frente** es el **riesgo que tiene el Sistema**
- El término **“riesgo de proyecto”** se refiere a la **franja de variación entre las curvas de pronóstico de producción de un proyecto**, el cual está directamente relacionado con la **incertidumbre de los parámetros estáticos y dinámicos** de los reservorios que sustentan el proyecto.



## Cuantificación Riesgo

P10-P50-P90



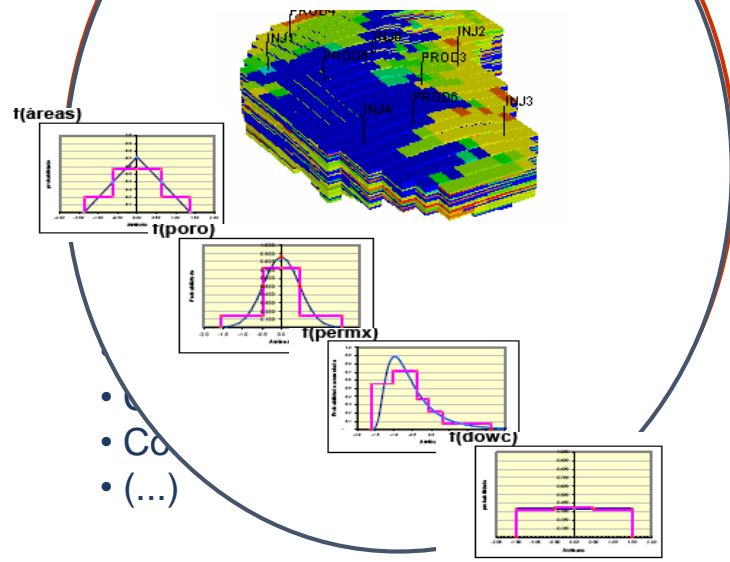


# Tipos de Incertidumbre

**Sistémicas**  
 • “Ruido” propio de las observaciones



**Caracterización Subsuelo**



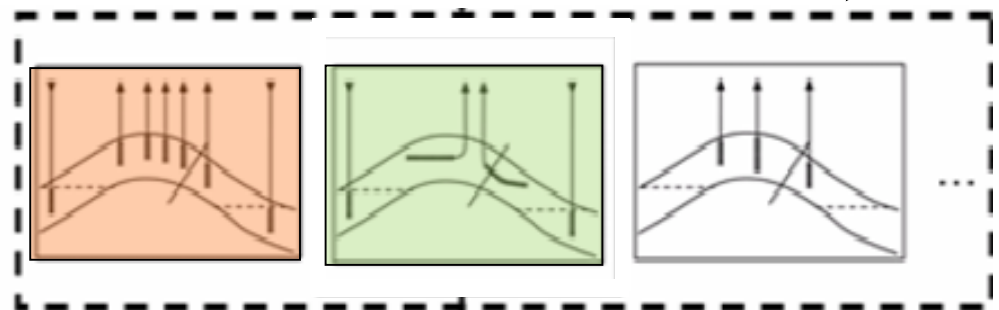
- ...
- Co
- (...)

**Tecnológicas (controlables)**

- Aparición de procesos y nuevas aplicaciones de impacto en productividad
- Fallas de equipamientos imprevistas
- Errores de asignación de producción
- Tecnologías de recuperación inéditas
- Tipos de Elevación artificial alternativas
- Técnicas de perforación
- Esquema de facilidades
- Capacidad de transporte
- Condiciones de tratamiento
- Restricciones ambientales
- (...)

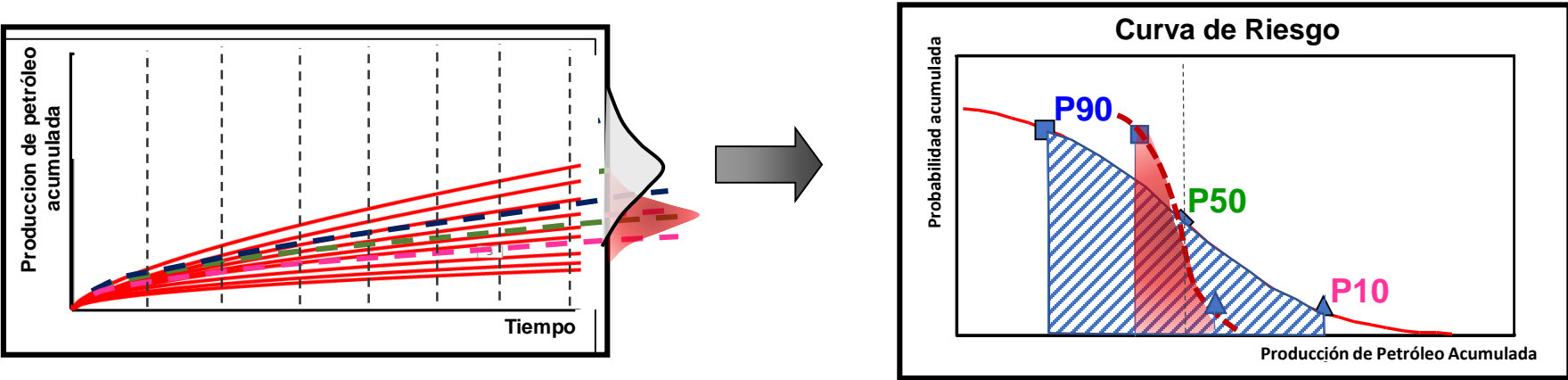
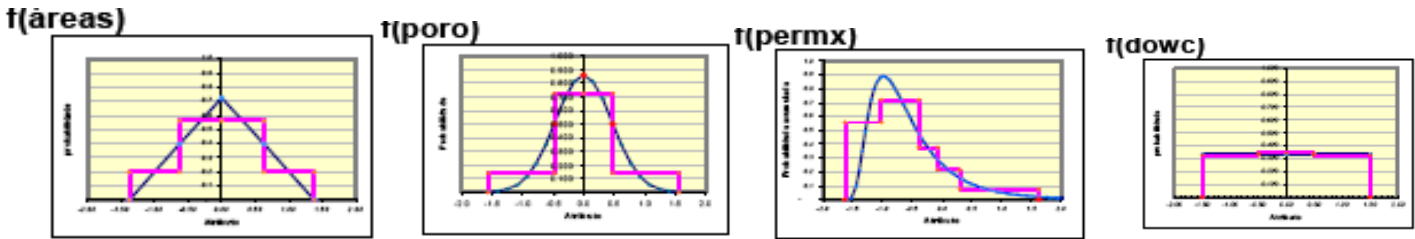
**Económicas / Regulatorias**

- Precio de los HC
- CAPEX
- OPEX
- Restricciones Gubernamentales e impuestos
- Cambios de directrices corporativas...
- (...)



# Parámetros Críticos

La **identificación inicial** de los parámetros de incertidumbre críticos, de los intervalos de variación y de los niveles discretos **tienen que ser criteriosos** para dar consistencia a los resultados.



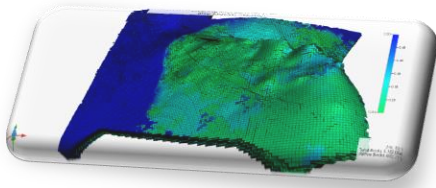
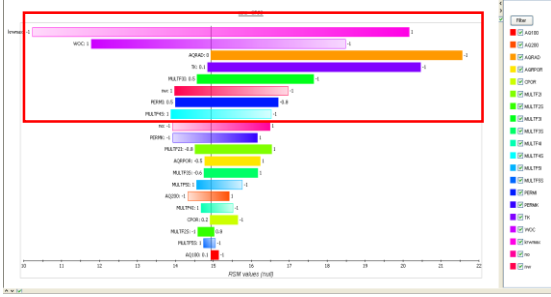


# Flujo de Trabajo General

**Definición de los parámetros de incertidumbre**

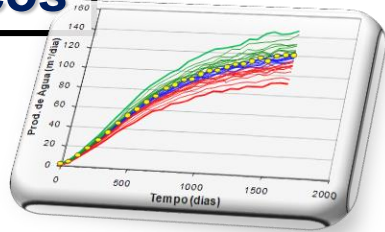
**Modelo del Caso base**

**Análisis de Sensibilidad Global**

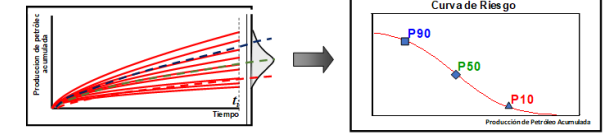


**Simulación Numérica combinaciones de parámetros críticos**

**Tratamiento probabilístico con Ajuste Histórico**



**Análisis de Riesgo**  
**P10, P50, P90**



**Modelos Representativos**

*Integración con otras incertidumbres (tecnológicas/económicas)*

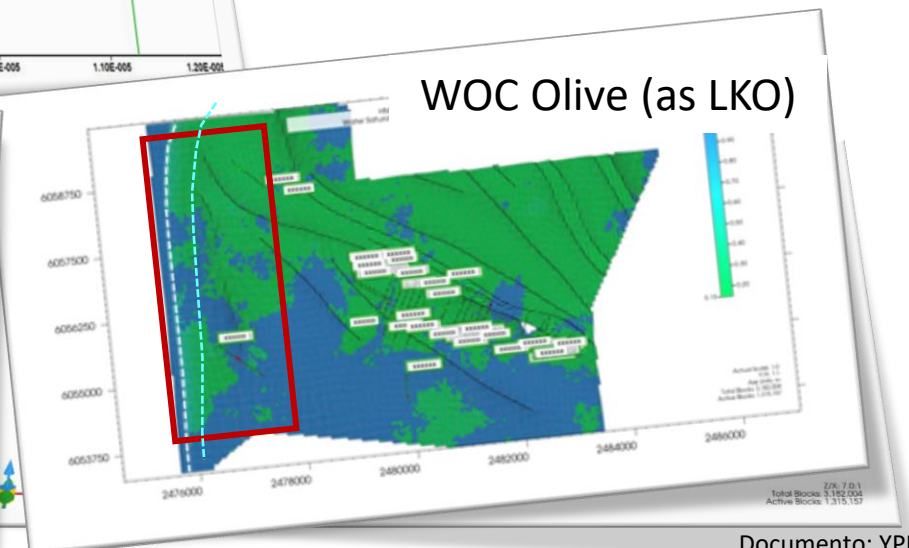
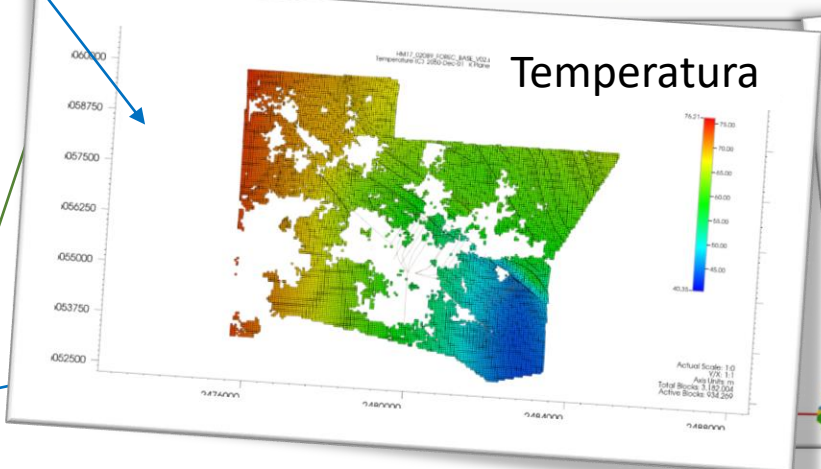
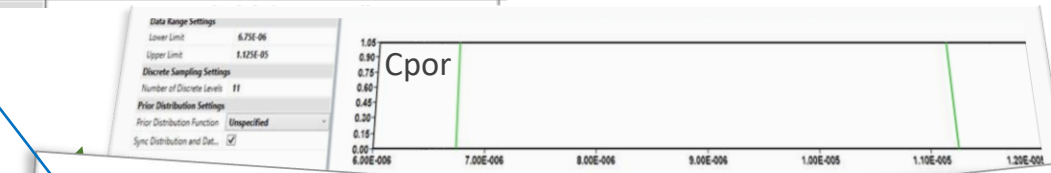
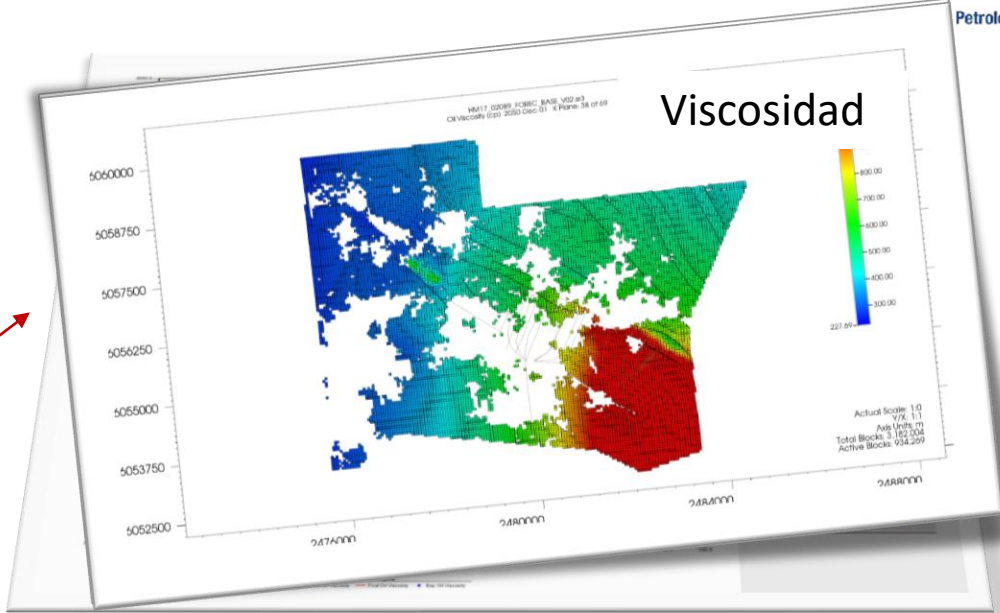
**Análisis de decisión**

**Optimización de una estrategia robusta**

# Definición Parámetros de Incertidumbre

	Name
1	DELTA <sub>Swcrit1</sub> <i>Delta Swcrit-Conn Green Q Alta</i>
2	DELTA <sub>Swcrit2</sub> <i>Delta Swcrit-Conn Green Q Med</i>
3	DELTA <sub>Swcrit3</sub> <i>Delta Swcrit-Conn Olive Q Alta</i>
4	DELTA <sub>Swcrit4</sub> <i>Delta Swcrit-Conn Olive Q Med</i>
5	DELTA <sub>Swcrit5</sub> <i>Delta Swirr-Conn No Res</i>
6	GradTermC100m <i>Gradiente Térmico</i>
7	KvKh1 <i>Rel. Kv/Kh Q Alta</i>
8	KvKh2 <i>Rel. Kv/Kh Q Media</i>
9	KvKh3 <i>Rel. Kv/Kh No Res</i>
10	MaxCap1 <i>Presión Capilar Máxima Q Alta</i>
11	MaxCap2 <i>Presión Capilar Máxima Q Media</i>
12	MaxCap3 <i>Presión Capilar Máxima No Res</i>
13	nw1 <i>Exp. Krw Green Q Alta</i>
14	nw2 <i>Exp. Krw Green Q Reg</i>
15	nw3 <i>Exp. Krw Olive Q Alta</i>
16	nw4 <i>Exp. Krw Olive Q Reg</i>
17	nw5 <i>Exp. Krw No Res</i>
18	no1 <i>Exp. Kro Green Q Alta</i>
19	no2 <i>Exp. Kro Green Q Reg</i>
20	no3 <i>Exp. Kro Olive Q Alta</i>
21	no4 <i>Exp. Kro Olive Q Reg</i>
22	no5 <i>Exp. Kro No Res</i>
23	Sorw1 <i>SOR Green Q Alta</i>
24	Sorw2 <i>SOR Green Reg Q</i>
25	Sorw3 <i>SOR Olive Alta Q</i>
26	Sorw4 <i>SOR Olive Reg Q</i>
27	Sorw5 <i>SOR No Res</i>
28	Cpor <i>Compresibilidad Roca</i>
29	DwocGreen <i>Contacto Agua-Petróleo Green</i>
30	DwocOlive <i>Contacto Agua-Petróleo Olive</i>

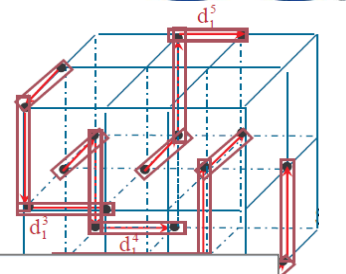
	Name
31	MultPerm1 <i>Factor Mapa Perm Q Alta</i>
32	MultPerm2 <i>Factor Mapa Perm Q Media</i>
33	MultPerm3 <i>Factor Mapa Perm No Res</i>
34	Swcon <i>Swi nicial para aplicar Leveret</i>
35	LiquidGasTable <i>Parámetros Gas-Líquido Corey</i>
36	OilWaterTable1 <i>Corey Oil-Water Green Q Alta</i>
37	OilWaterTable2 <i>Corey Oil-Water Green Q Med</i>
38	OilWaterTable3 <i>Corey Oil-Water Olive Q Alta</i>
39	OilWaterTable4 <i>Corey Oil-Water Olive Q Media</i>
40	OilWaterTable5 <i>Corey Oil-Water No Res</i>
41	VISCMULTG <i>Mult. Visc. Green</i>
42	VISCMULTO <i>Mult. Visc. Olive</i>
43	ROCKCONN <i>Conductibilidad Térmica</i>
44	ROCKCC <i>Capacidad Calorífica</i>



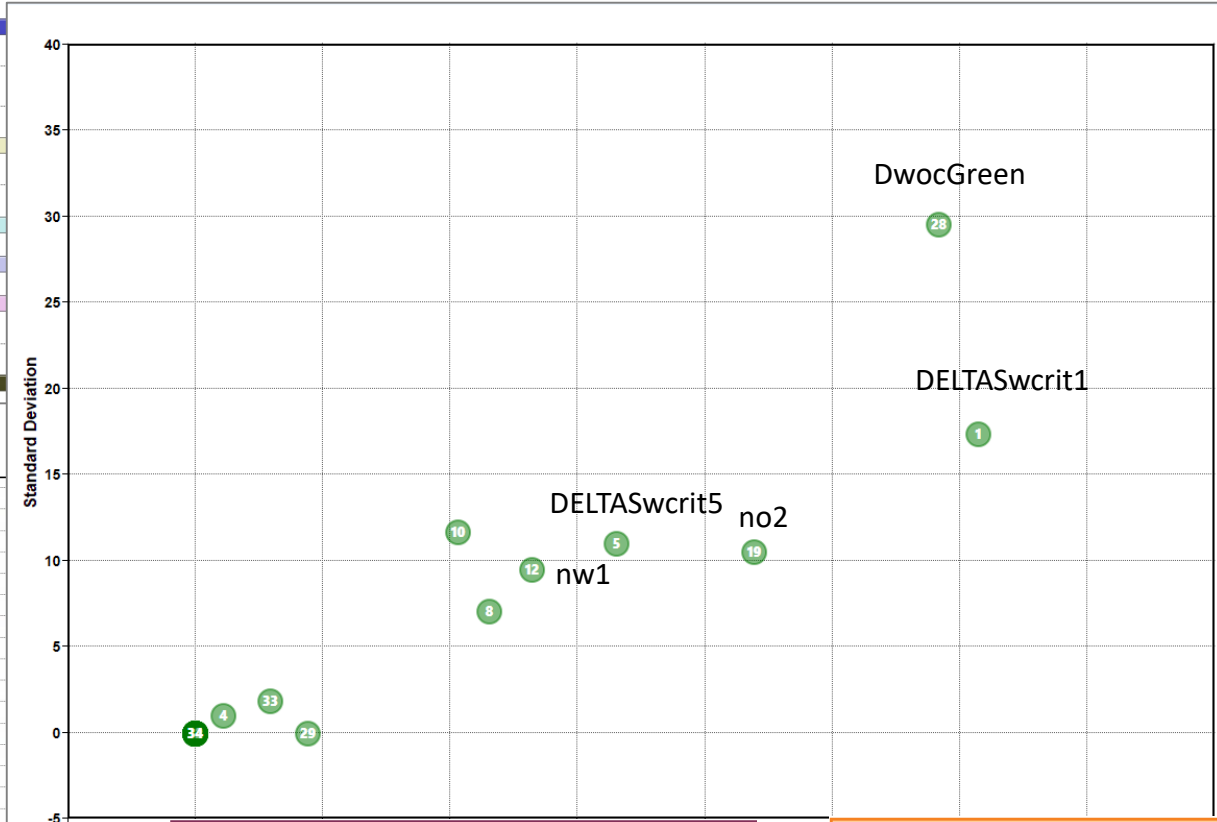
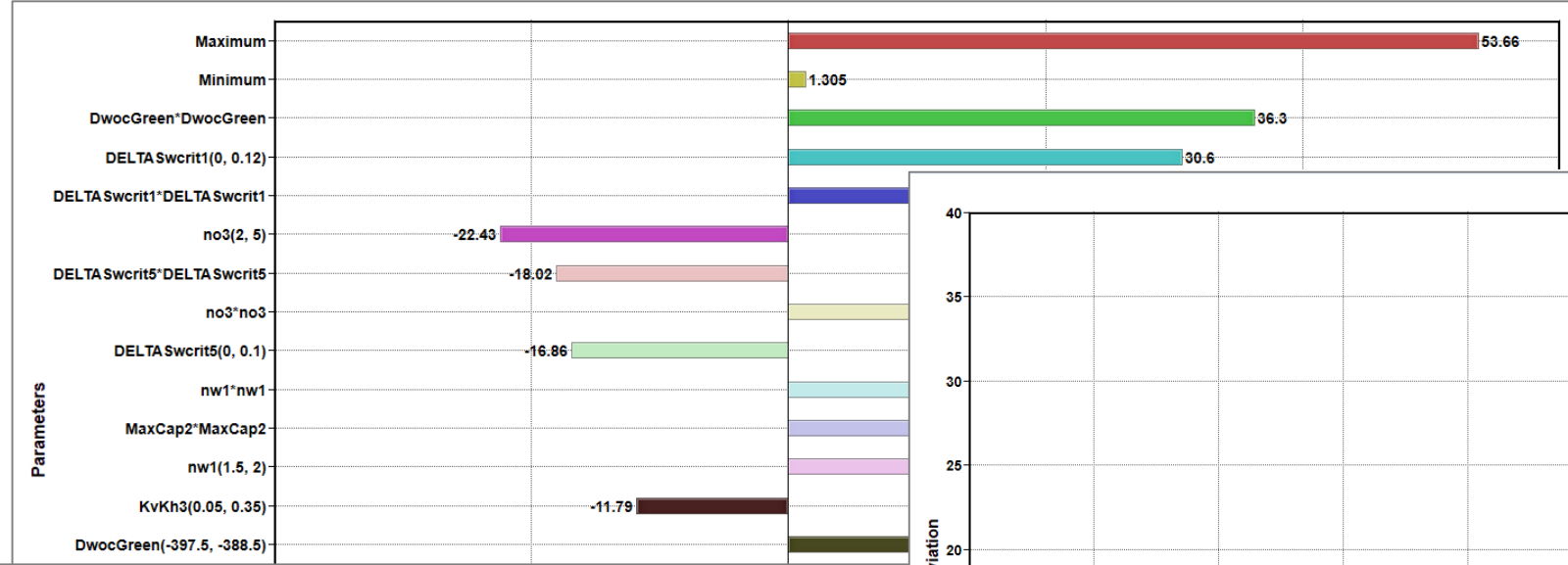




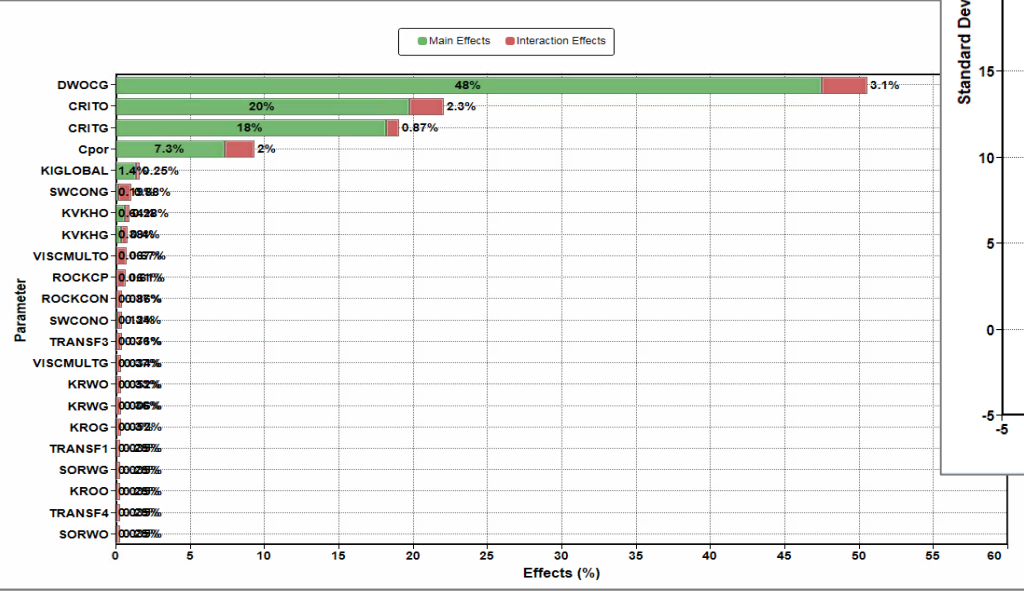
# Análisis de Sensibilidad y Test de Morris



$$d_1^1 = \frac{y(x_1 + \Delta_1, x_2, x_3) - y(x_1, x_2, x_3)}{\Delta_1}$$



- 1 DELTASwcrit1
- 2 DELTASwcrit2
- 3 DELTASwcrit3
- 4 DELTASwcrit4
- 5 DELTASwcrit5
- 6 KvKh1
- 7 KvKh2
- 8 KvKh3
- 9 MaxCap1
- 10 MaxCap2
- 11 MaxCap3
- 12 nw1
- 13 nw2
- 14 nw3
- 15 nw4
- 16 nw5
- 17 no1
- 18 no2
- 19 no3
- 20 no4
- 21 no5
- 22 Sorw1
- 23 Sorw2
- 24 Sorw3
- 25 Sorw4
- 26 Sorw5
- 27 Cpor
- 28 DwcGreen
- 29 DwcOlive
- 30 MultPerm1
- 31 MultPerm2
- 32 MultPerm3
- 33 VISCMULTG
- 34 VISCMULTO



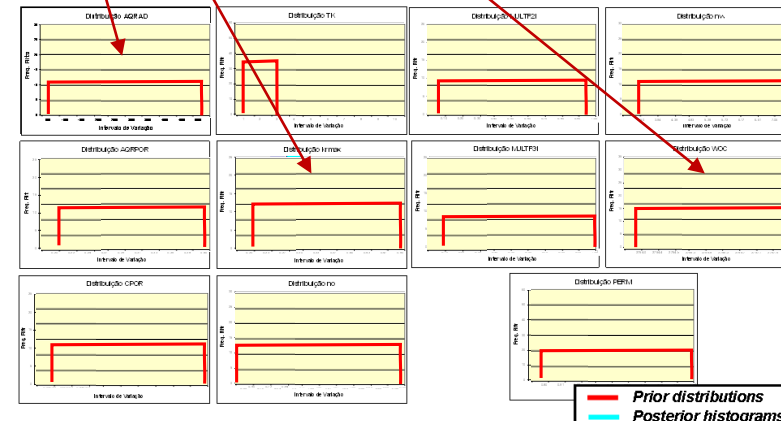
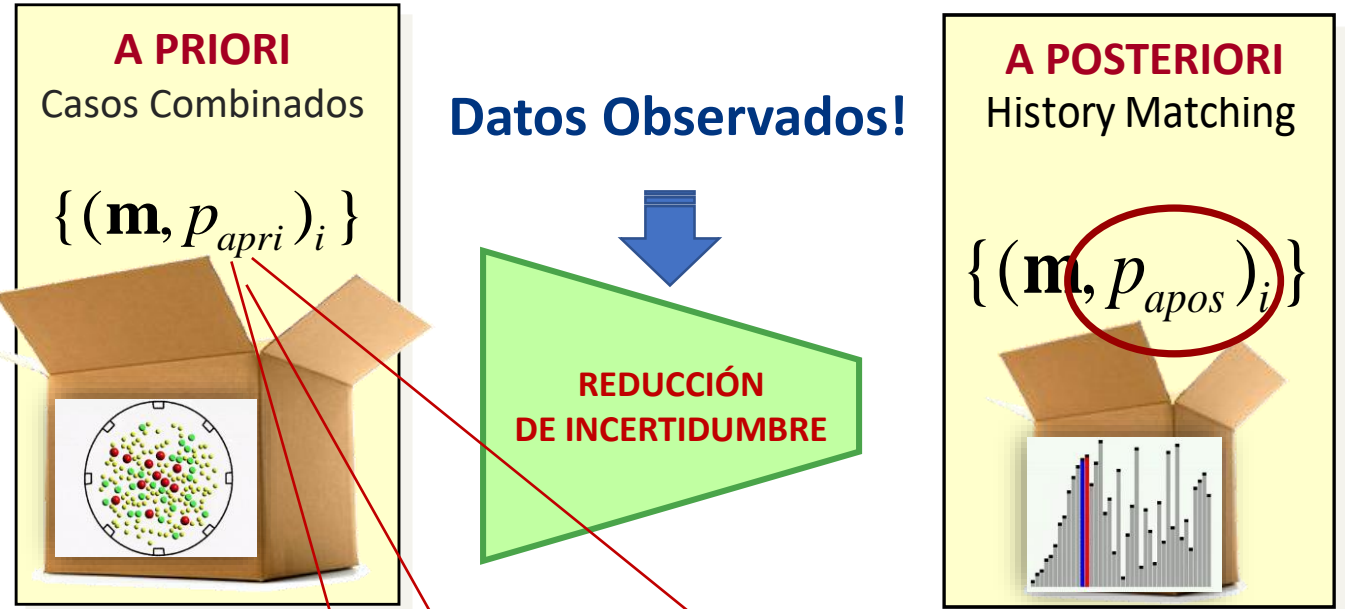
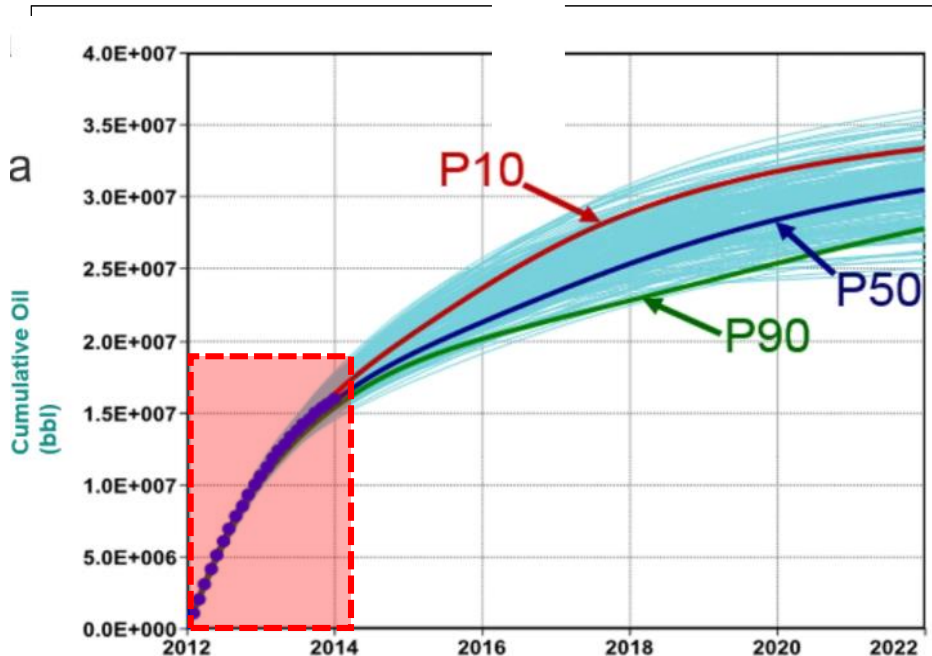
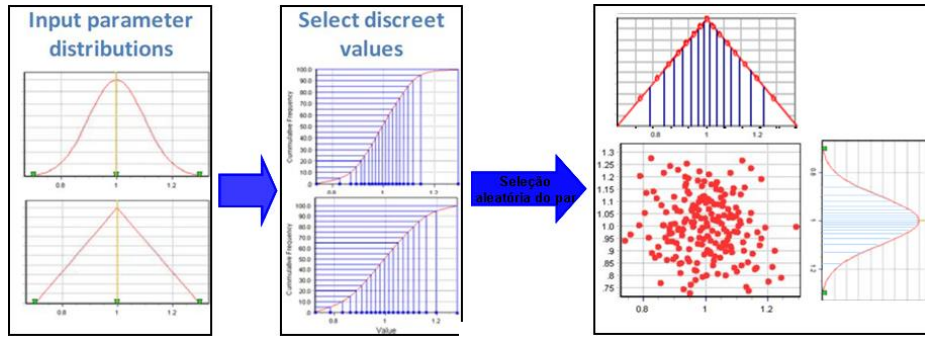
$\mu_j(y)$  : measure of sensitivity  
 $\mu_j(y) = 0 \Rightarrow x_j$  has no linear effect  
 $\mu_j(y)$  high  $\Rightarrow x_j$  has linear main effect

$\sigma_j(y)$  : measure of interactions and non-linear effects  
 $\sigma_j(y) = 0 \Rightarrow x_j$  has no non-linear effect neither interaction effect  
 $\sigma_j(y)$  high  $\Rightarrow x_j$  has non-linear effects and/or interaction effect

# Que significa un Ajuste Histórico Probabilístico

- ✓ Conjunto de soluciones que reproducen los datos observados y **que pueden dar lugar a diferentes escenarios de predicción.**

*Variación de las distribuciones de parámetros!*

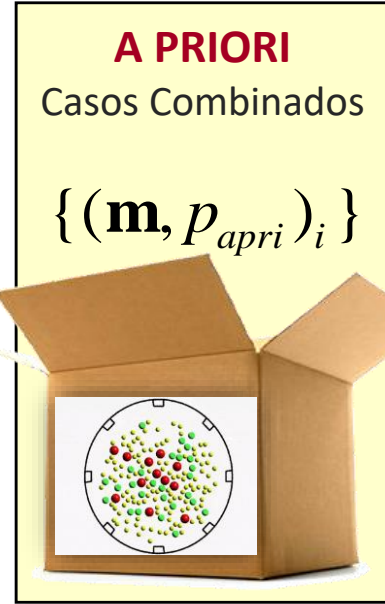
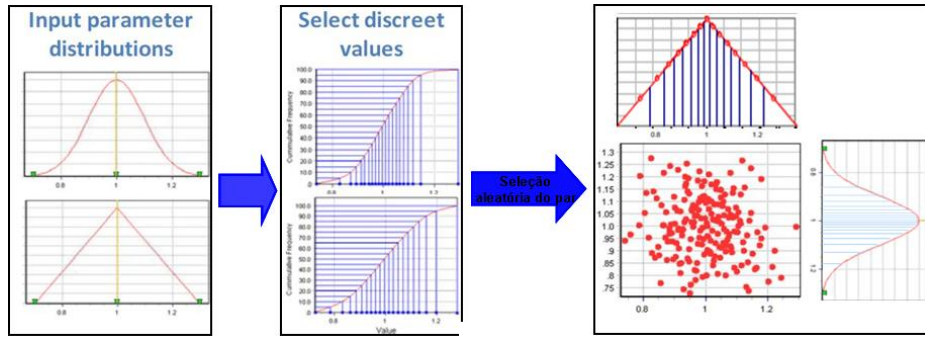




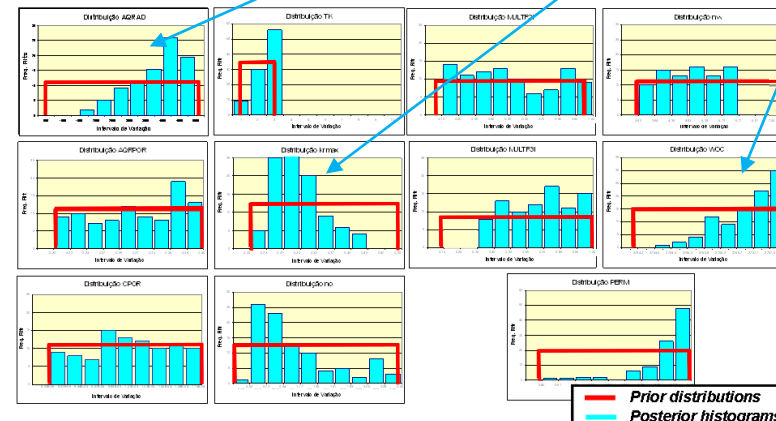
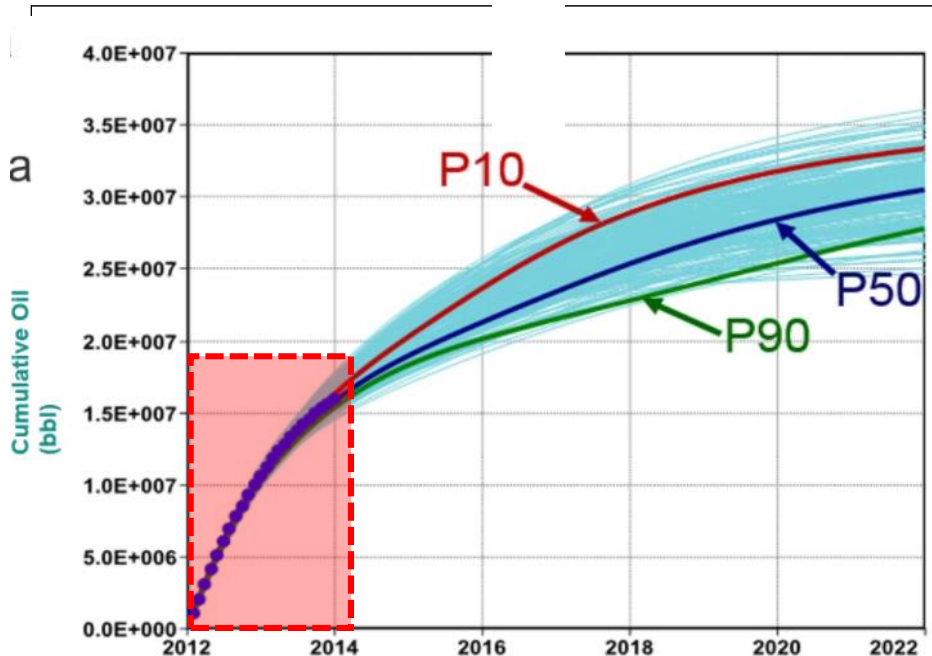
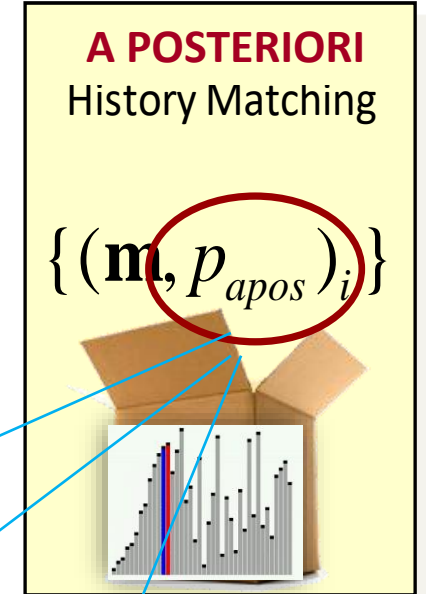
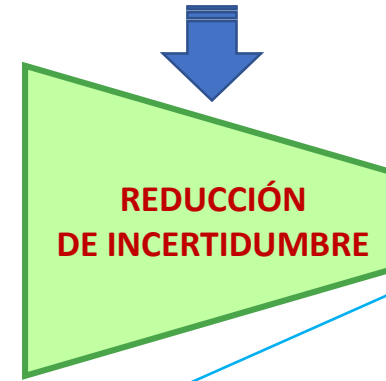
# Que significa un Ajuste Histórico Probabilístico

- ✓ Conjunto de soluciones que reproducen los datos observados y **que pueden dar lugar a diferentes escenarios de predicción.**

*Variación de las distribuciones de parámetros!*

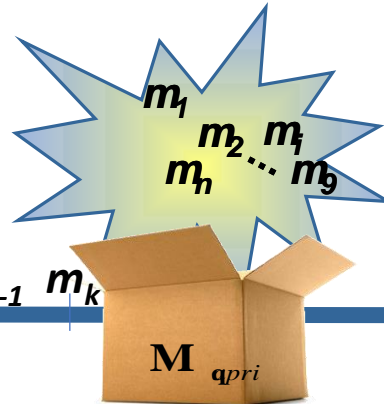
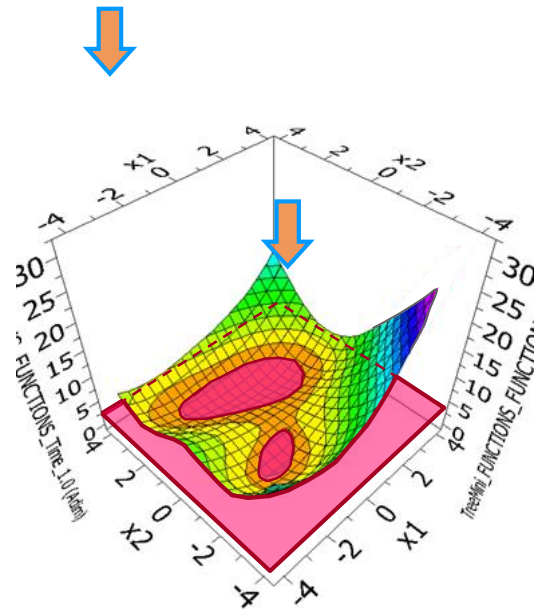
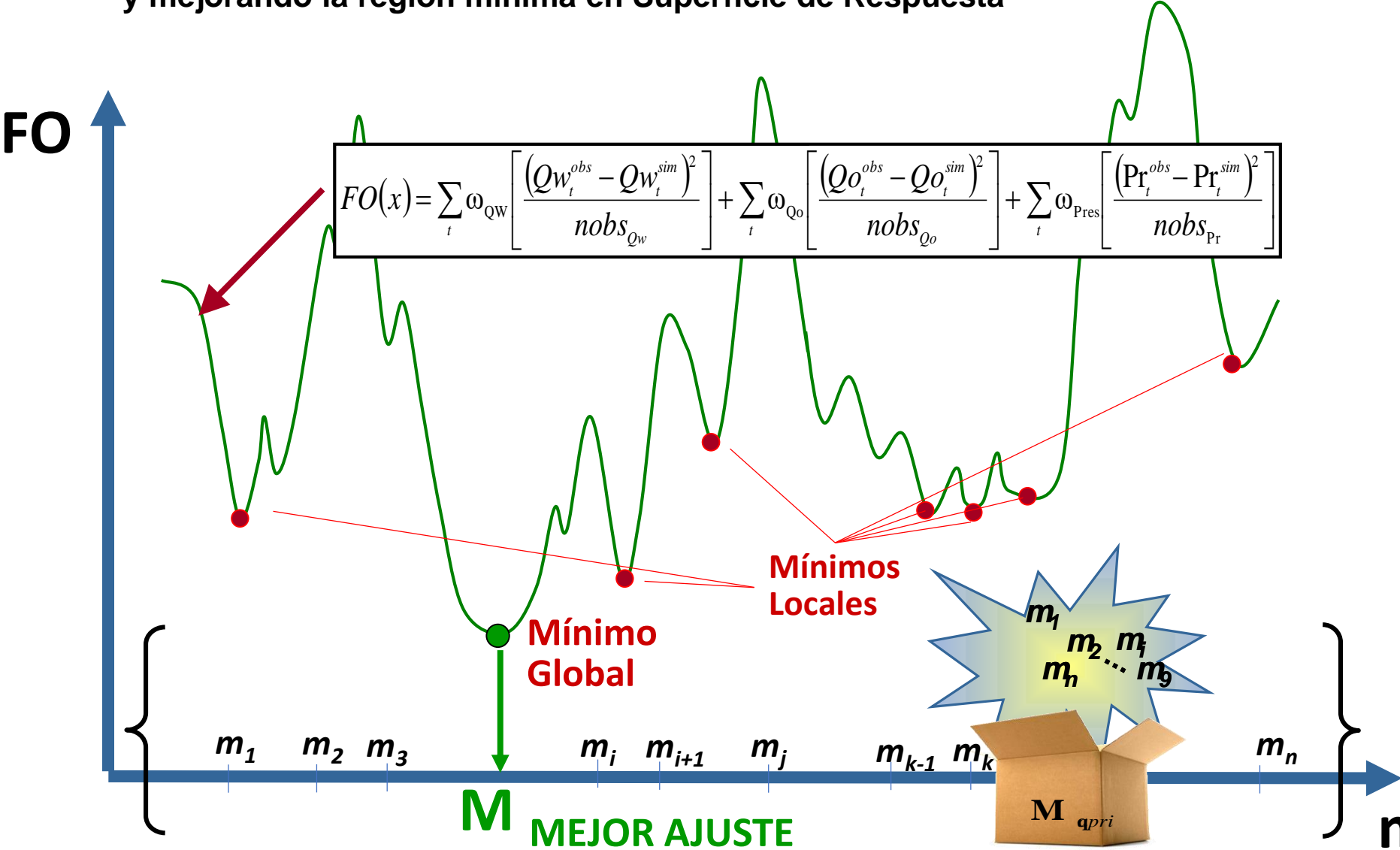


**Datos Observados!**



# Función Objetivo

- El objetivo de la Función Objetivo es **medir la distancia entre los valores observados y calculados**. Las combinaciones probabilísticas y la optimización bajo incertidumbre buscan **reducir estas distancias buscando y mejorando la región mínima en Superficie de Respuesta**

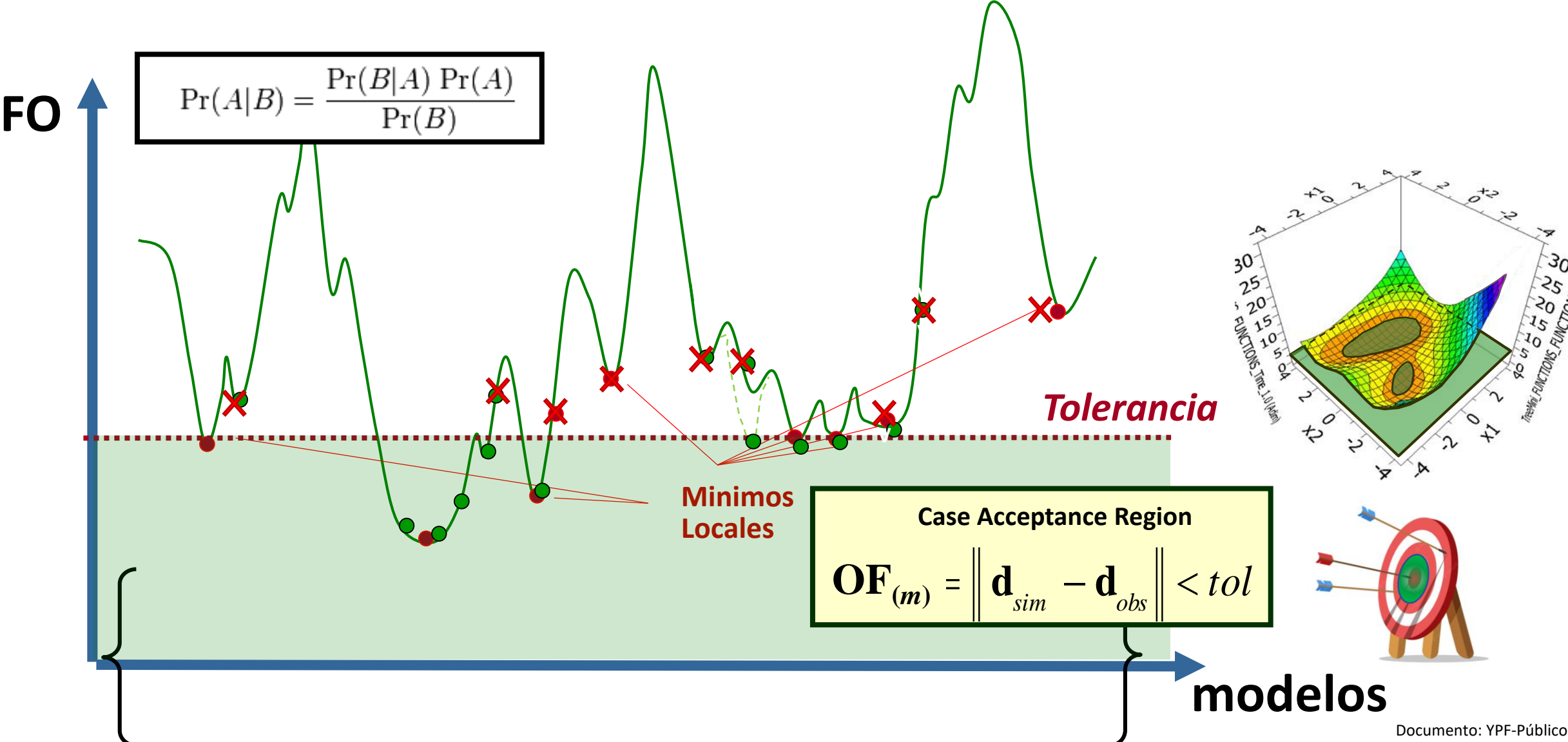


modelos



# Restringiendo la Variación de la Función Objetivo

- Debemos concentrarnos en una región de aceptación "en la que acordamos tolerar" las diferencias entre los valores observados y calculados.

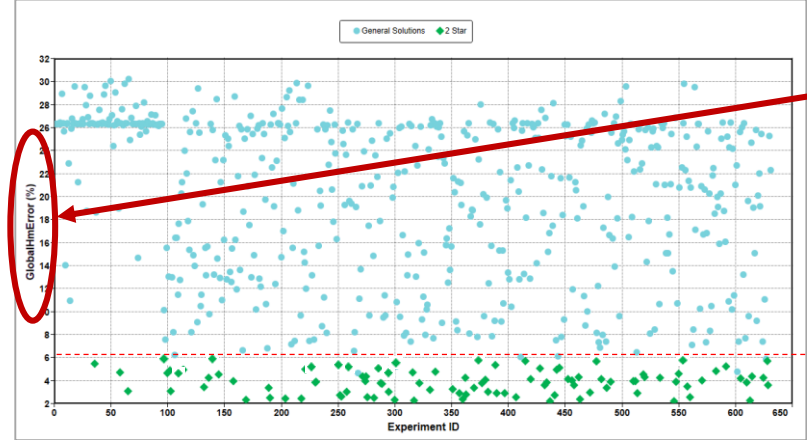
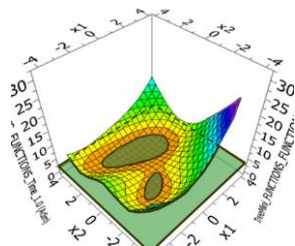


# Primera Etapa Variación de la distribución y rangos de los Parámetros

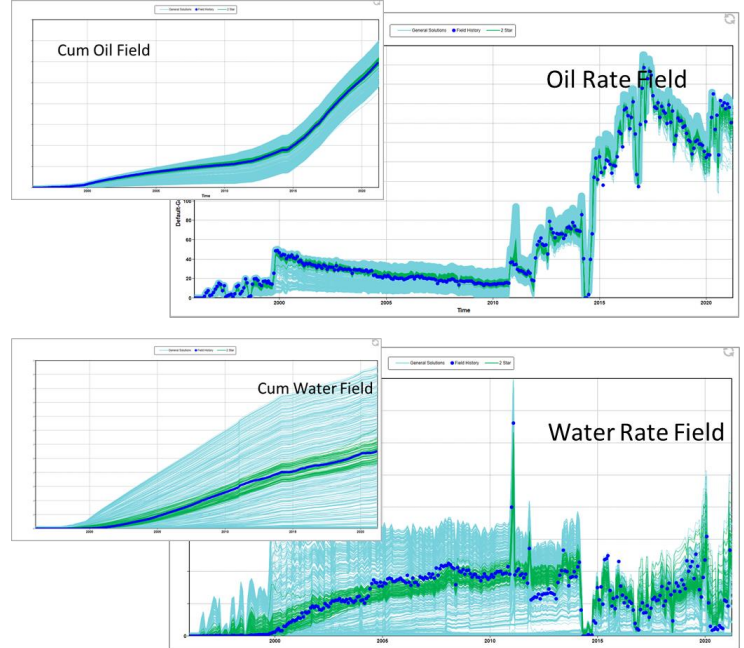
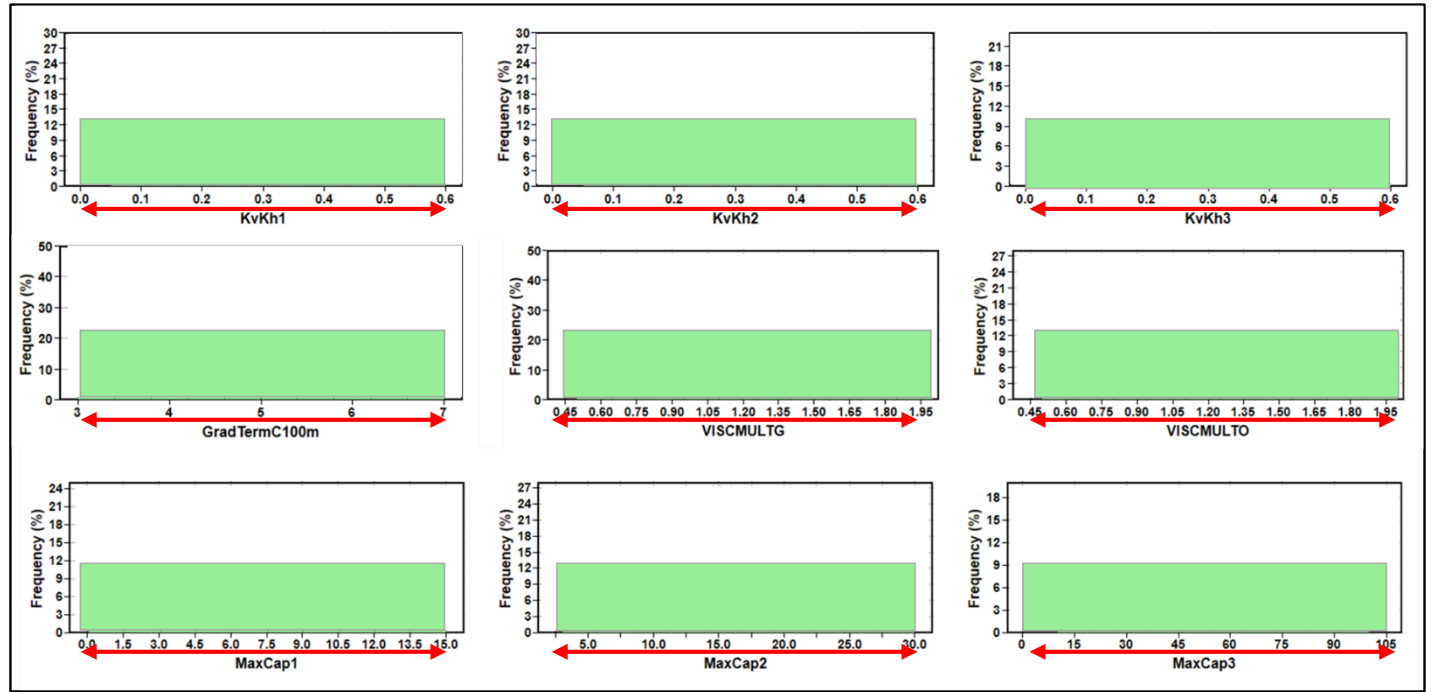
- Se implementó un HM probabilístico direccionado por un algoritmo de optimización evolutivo (**DECE, Designed Exploration and Controlled Evolution**),

$$FO(x) = \sum_t \omega_{QW} \left[ \frac{(QW_t^{obs} - QW_t^{sim})^2}{nobs_{QW}} \right] + \sum_t \omega_{Qo} \left[ \frac{(Qo_t^{obs} - Qo_t^{sim})^2}{nobs_{Qo}} \right] + \sum_t \omega_{Pr} \left[ \frac{(Pr_t^{obs} - Pr_t^{sim})^2}{nobs_{Pr}} \right]$$

*Función Objetivo*



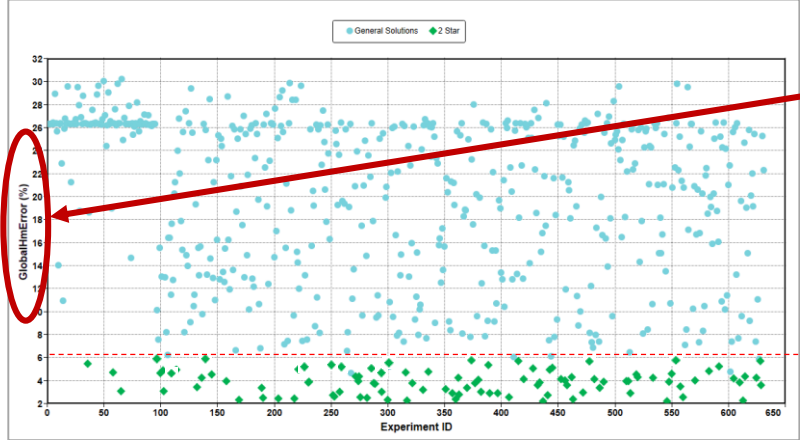
Distribución de Probabilidad de los Parámetros con una Constante de Tolerancia





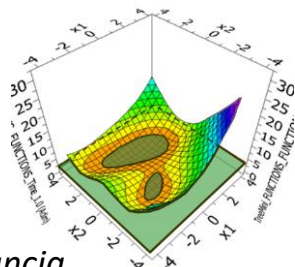
# Primera Etapa Variación de la distribución y rangos de los Parámetros

- Se implementó un HM probabilístico direccionado por un algoritmo de optimización evolutivo (**DECE, Designed Exploration and Controlled Evolution**),

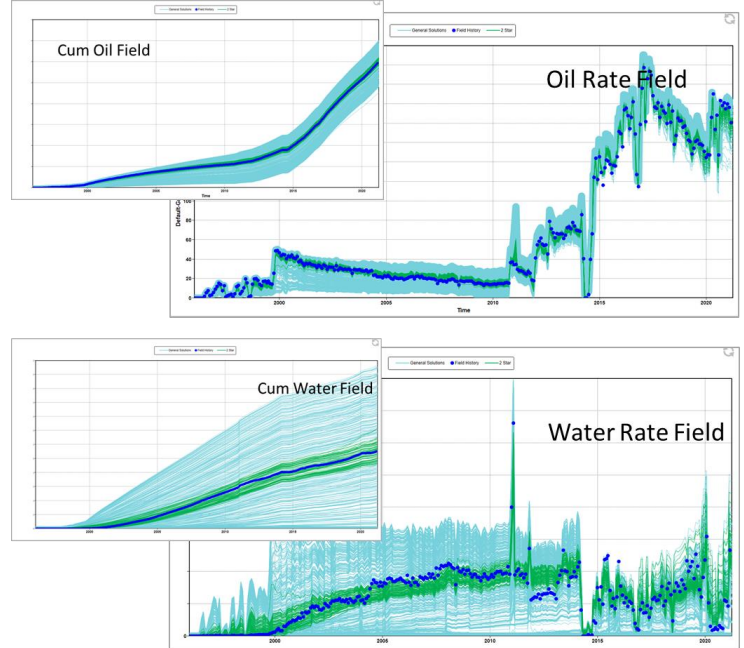
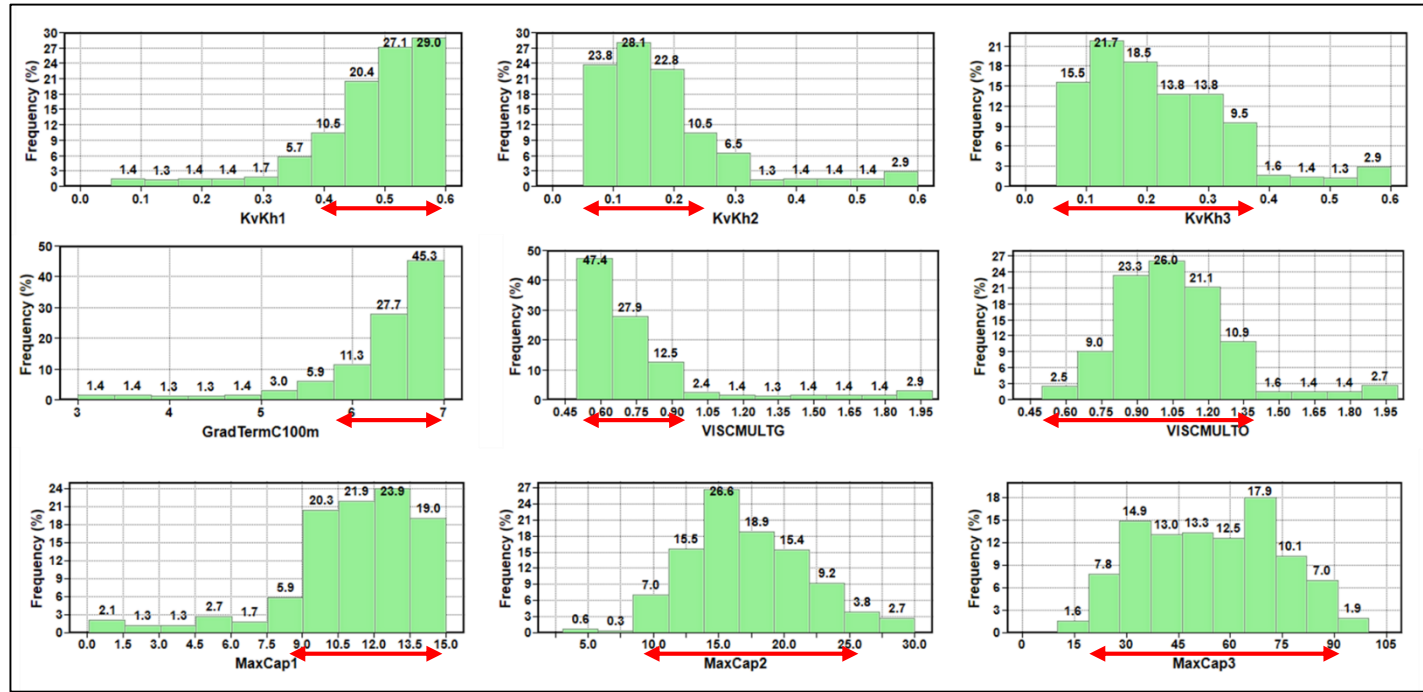


$$FO(x) = \sum_t \omega_{QW} \left[ \frac{(QW_t^{obs} - QW_t^{sim})^2}{nobs_{QW}} \right] + \sum_t \omega_{Qo} \left[ \frac{(Qo_t^{obs} - Qo_t^{sim})^2}{nobs_{Qo}} \right] + \sum_t \omega_{Pr} \left[ \frac{(Pr_t^{obs} - Pr_t^{sim})^2}{nobs_{Pr}} \right]$$

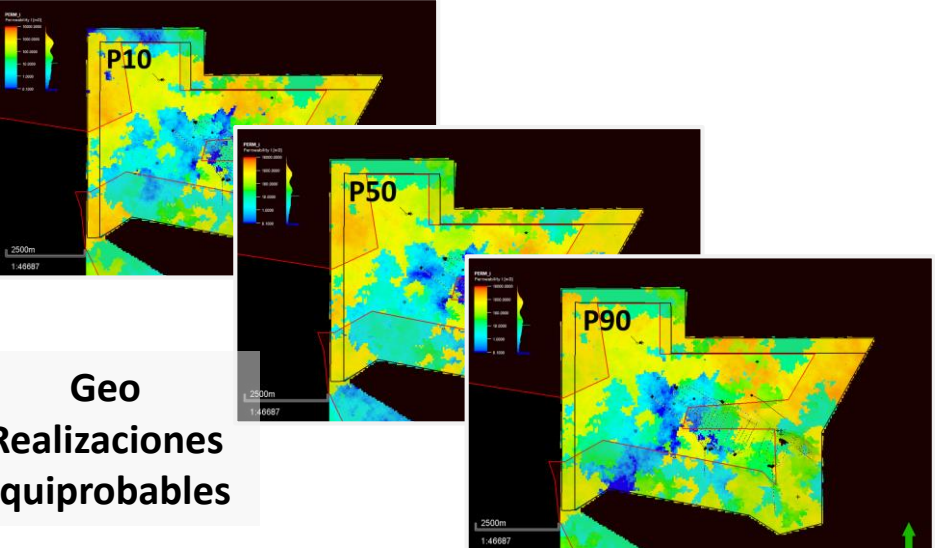
Función Objetivo



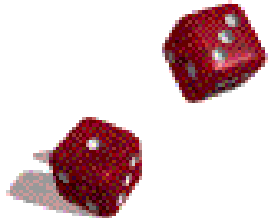
Distribuciones de Probabilidad de los Parámetros con una Constante de Tolerancia



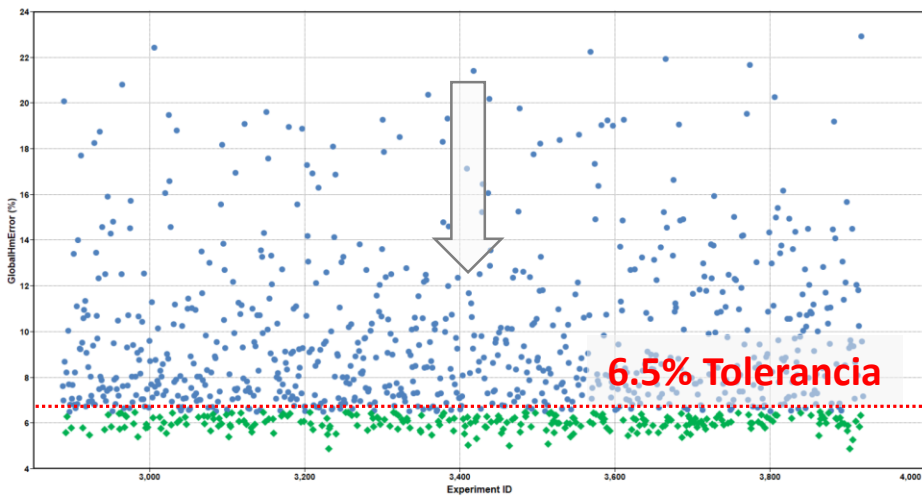
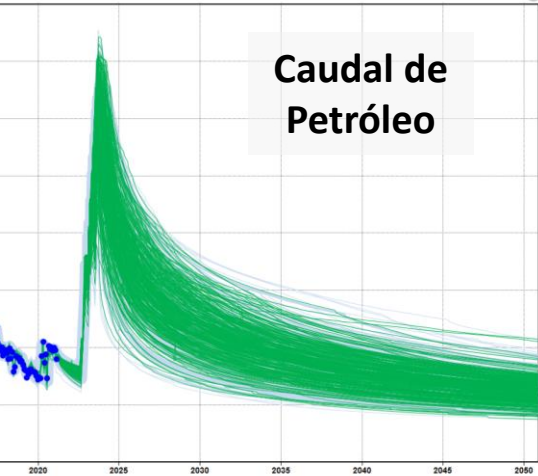
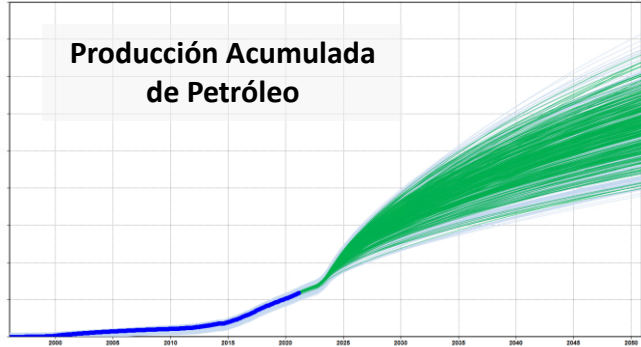
# Análisis de Incertidumbre de Pronósticos



## Montecarlo



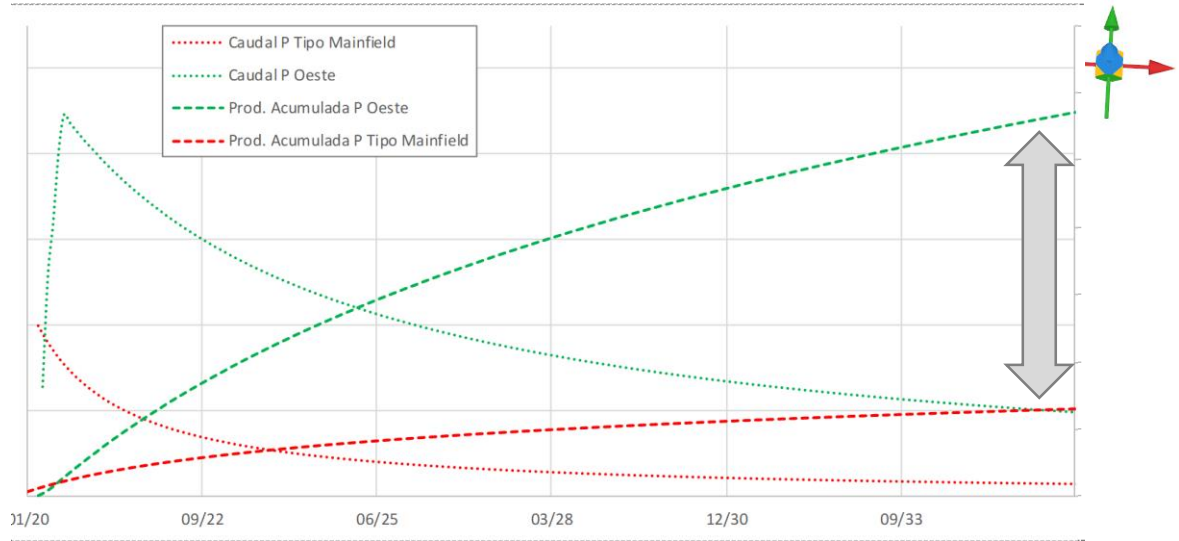
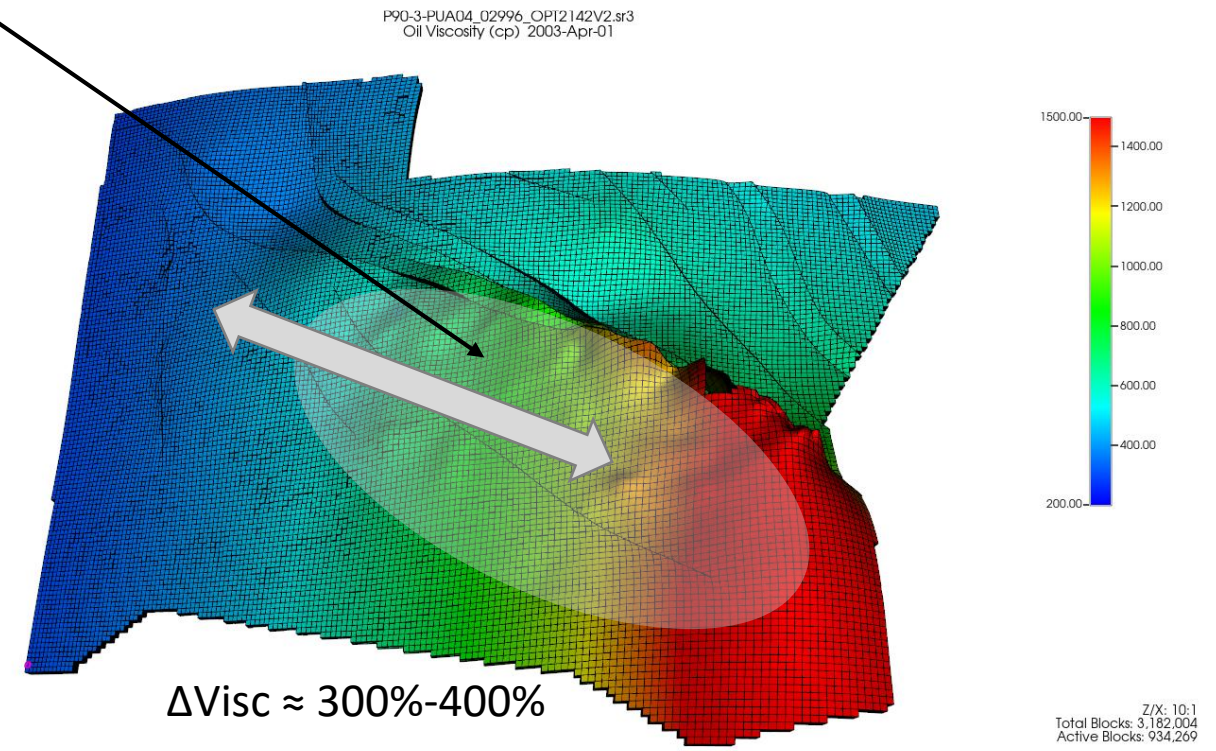
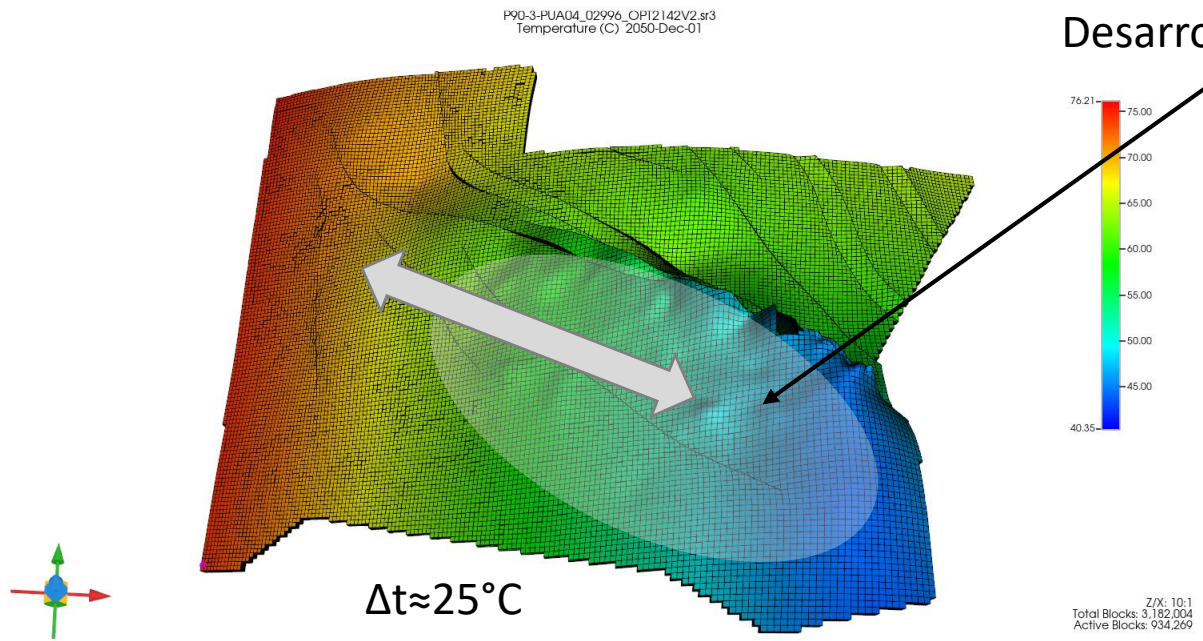
Mayor  
Densidad de  
Soluciones con  
Bajo Error





# Temperatura, Viscosidad y Productividad

## Desarrollo Actual

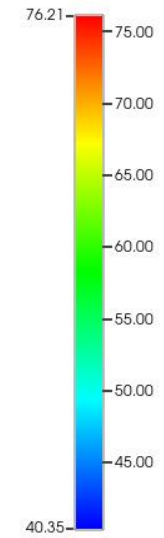
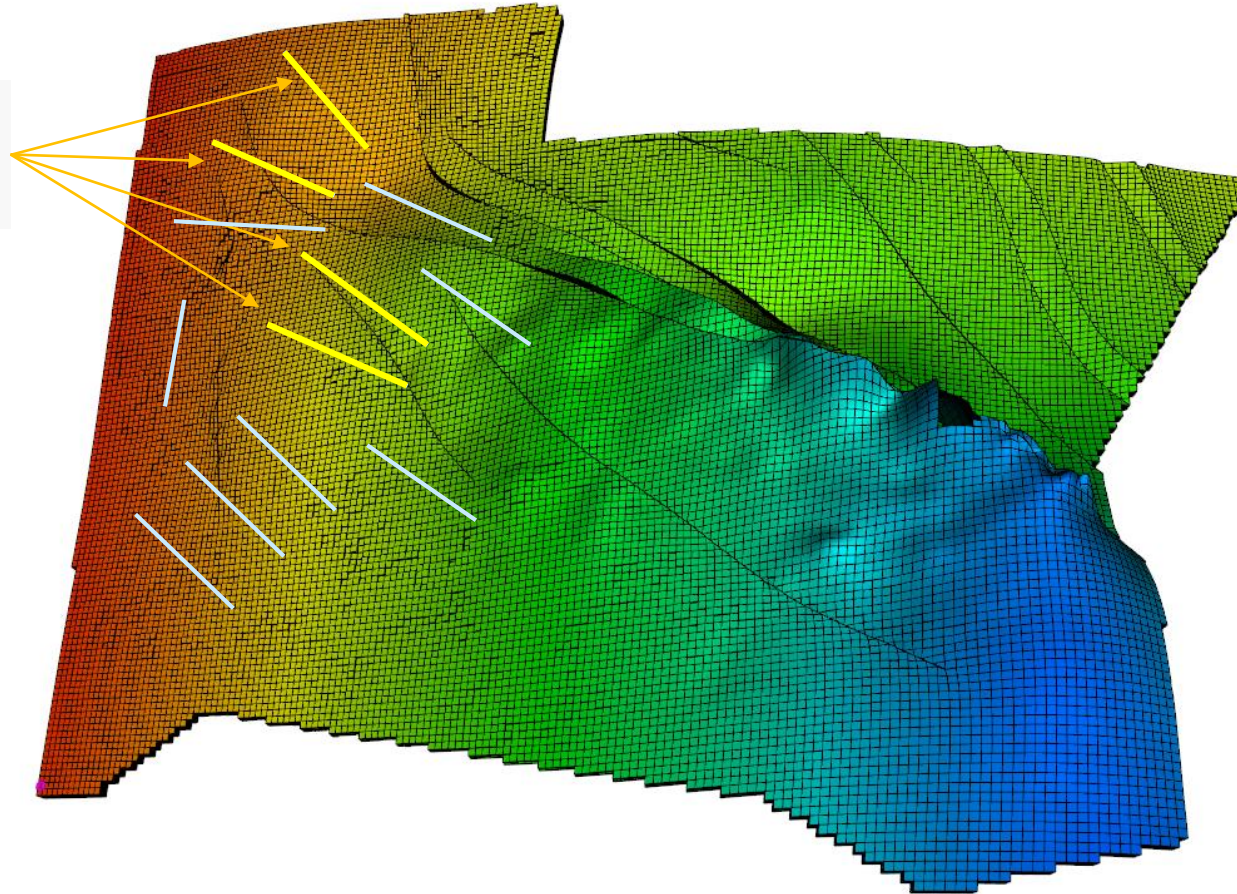
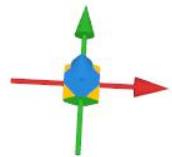


**Productividad  $\approx 450\%!!!$**



P90-3-PUA04\_02996\_OPI2142V2.sr3  
Temperature (C) 2050-Dec-01

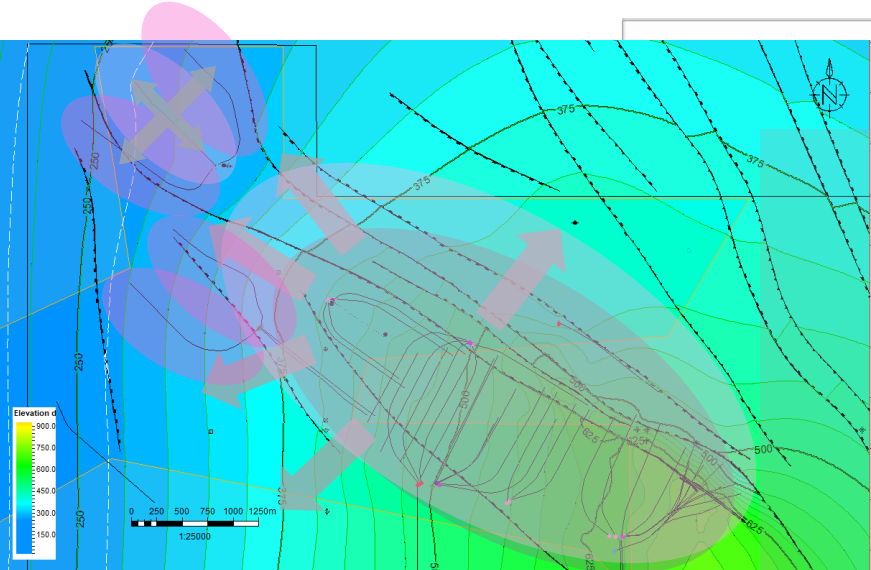
**Pozos  
Campaña 2022**



Z/X: 10:1  
Total Blocks: 3,182,004  
Active Blocks: 934,269

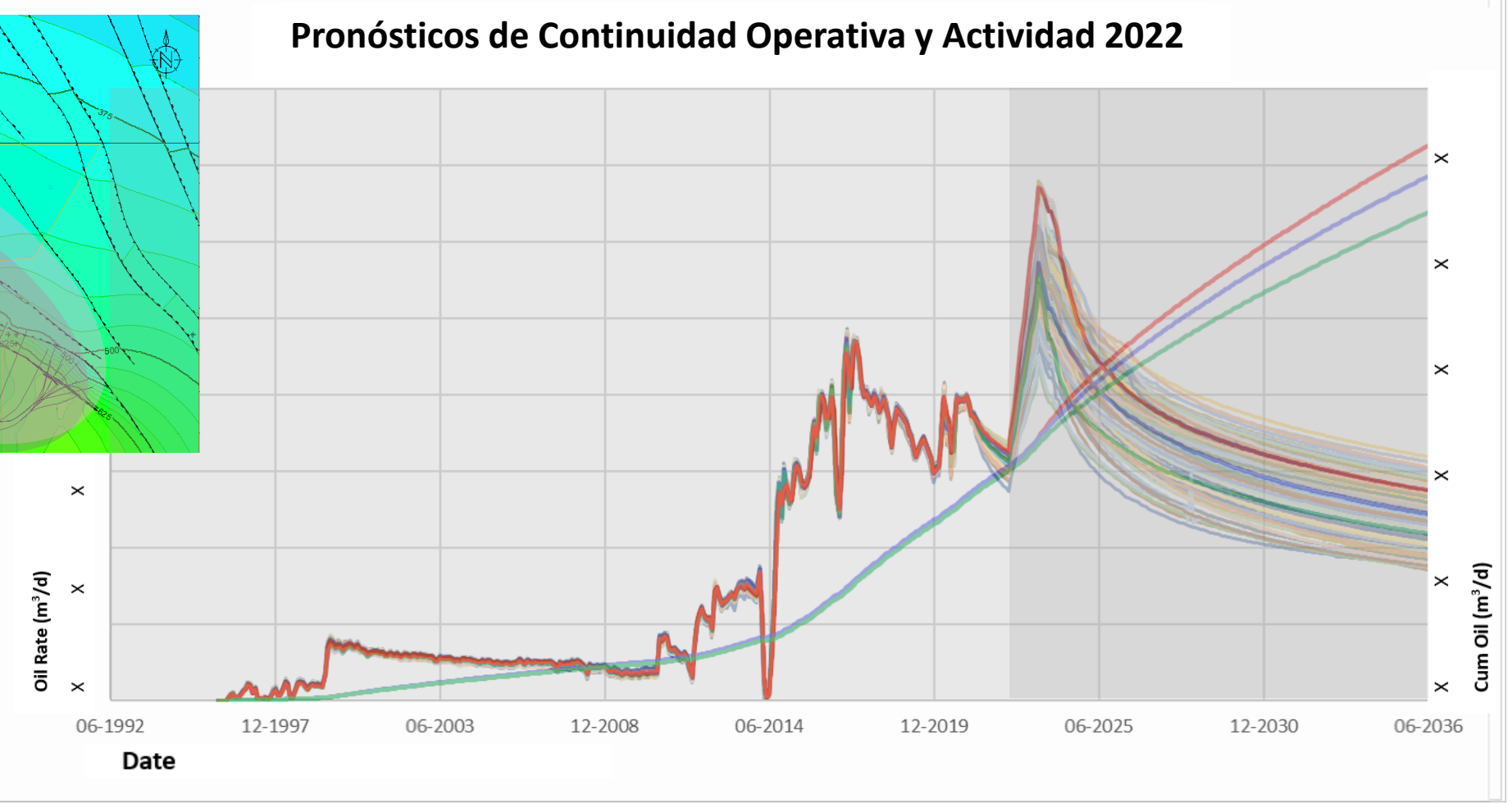
# Análisis de Incertidumbre de Pronósticos

## Pronósticos de Campo Completo



Campaña 2022: con solo 4 pozos se espera incrementar fuertemente la producción del campo (duplicándose en el P90).

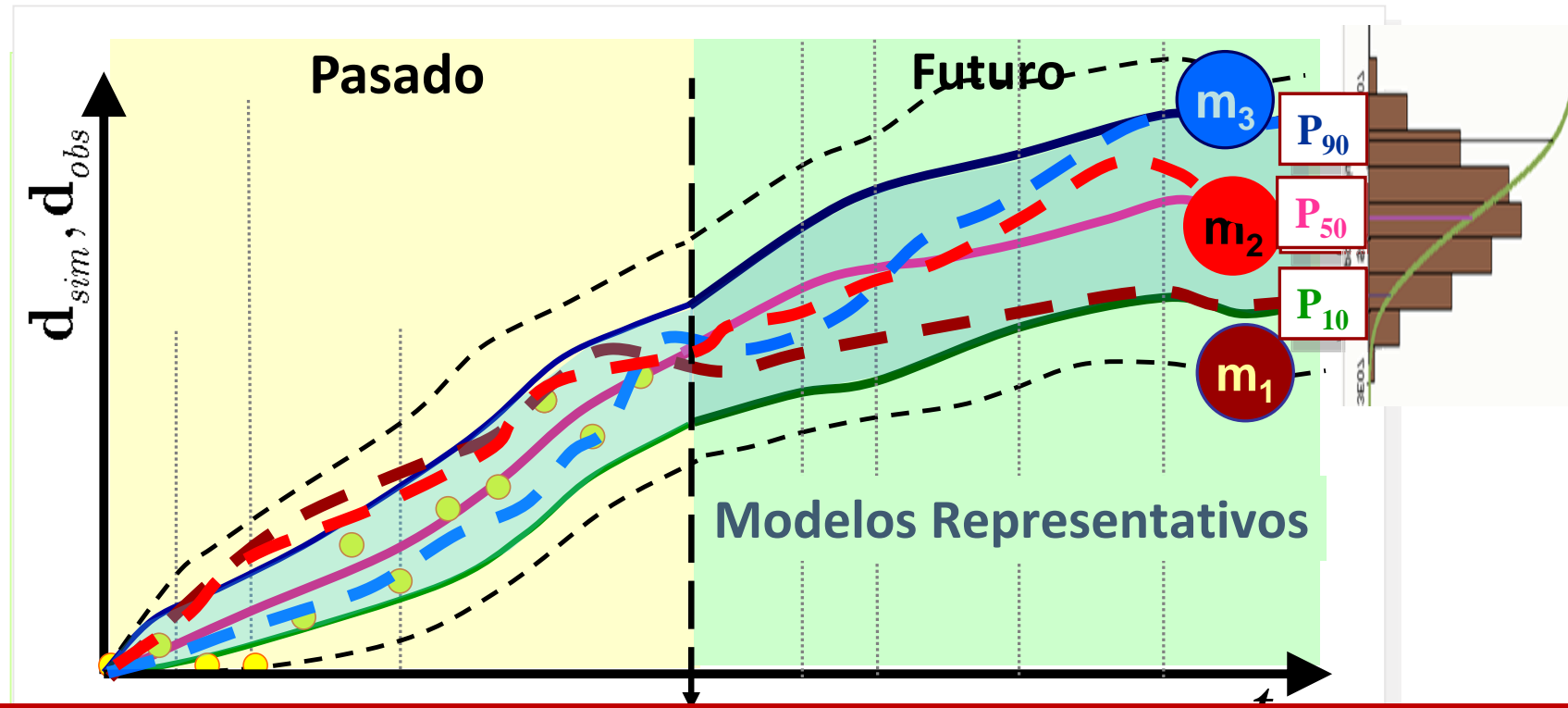
## Pronósticos de Continuidad Operativa y Actividad 2022



# Selección de Modelos Representativos

## ¿Qué son los modelos representativos?

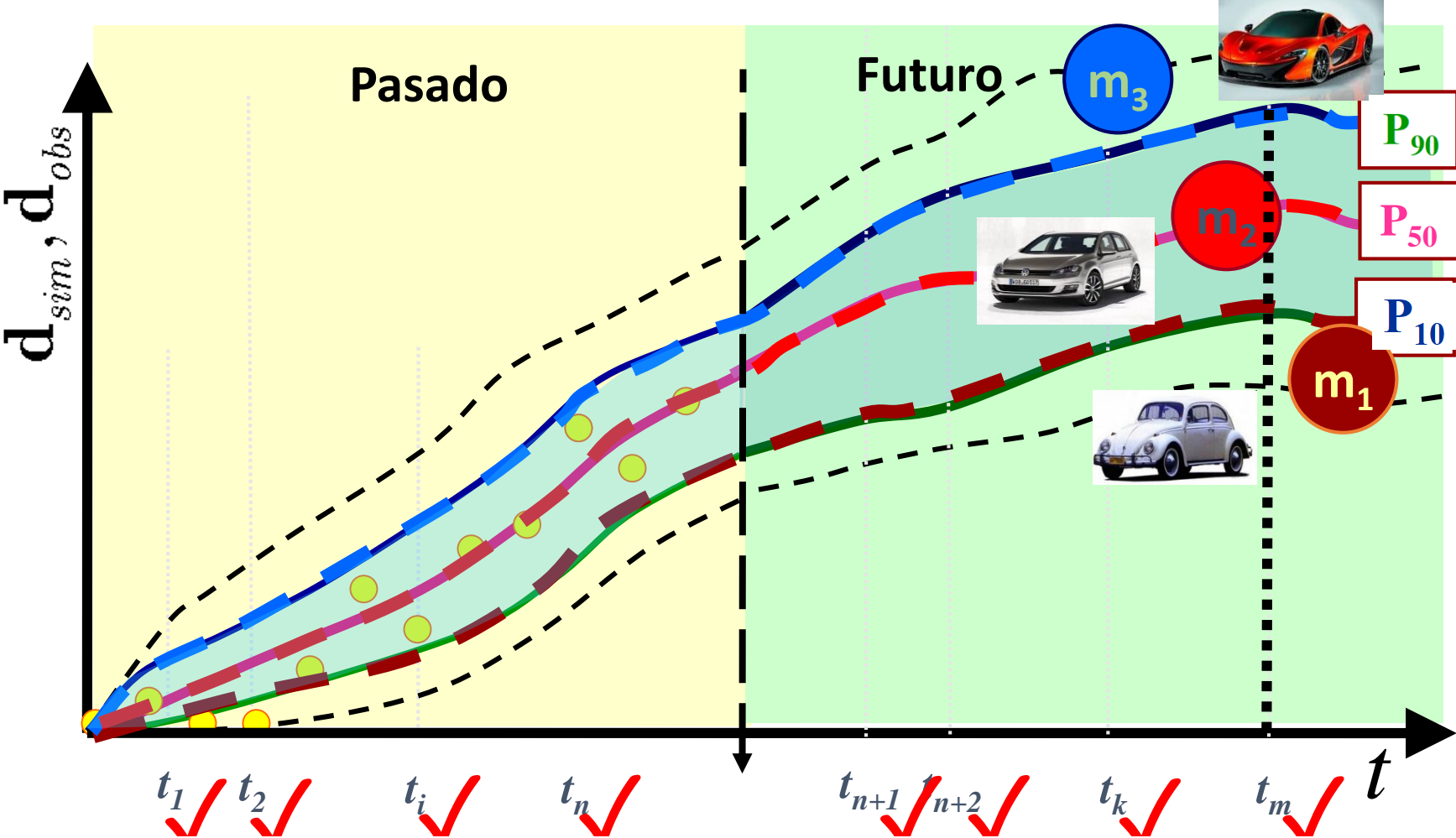
- Es **CRÍTICO** considerar **múltiples fechas** para la selección apropiada de cada percentil representativo.
- Un modelo representativo basado únicamente en la **evaluación de la respuesta acumulada al final del pronóstico** es un error común
- Si nuestro análisis es solo en el momento final, podemos obtener **modelos poco confiables ...**



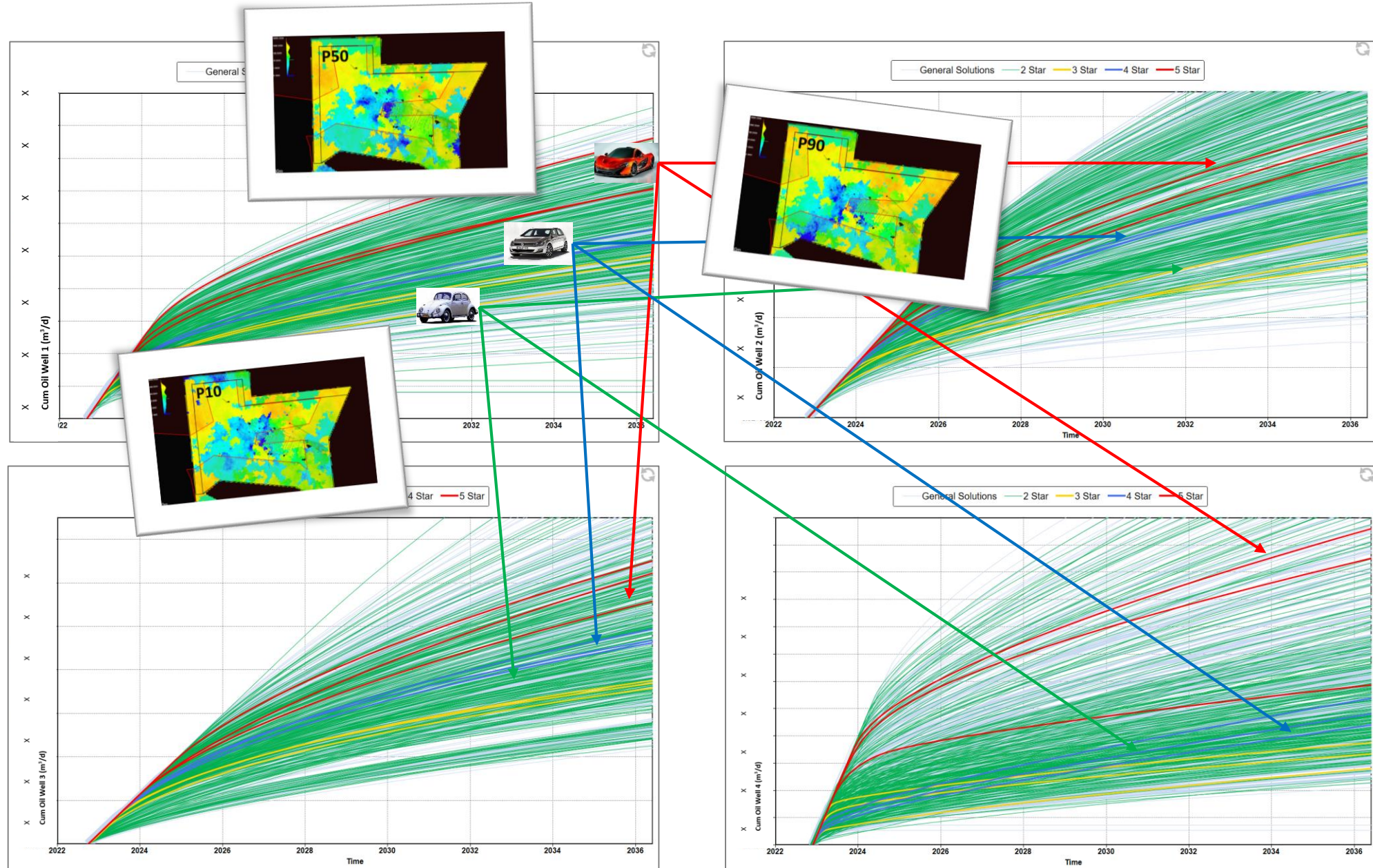
Las curvas también deben respetar los percentiles en otros tiempos característicos.



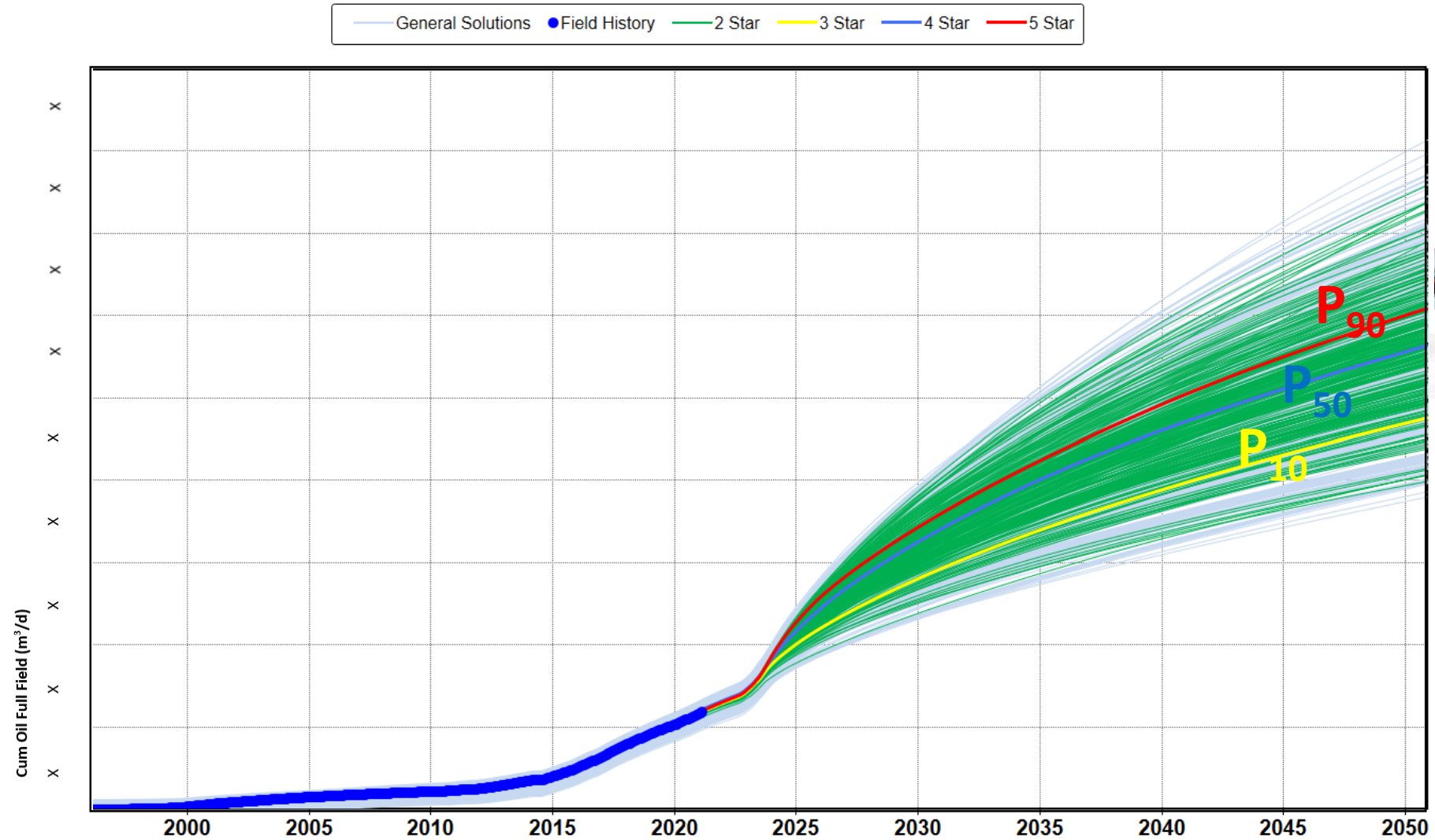
# Selección de Modelos Representativos



# Selección de Modelos Representativos – Pozos 2022

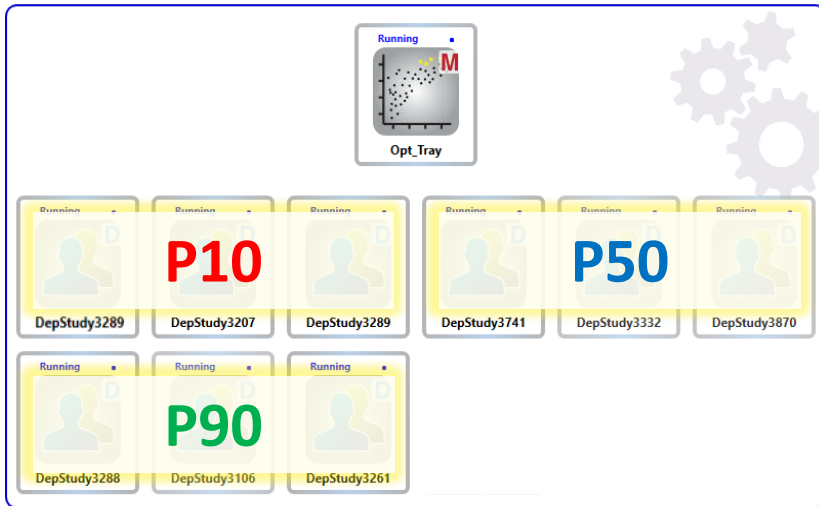


# Selección de Modelos Representativos – Campo Completo





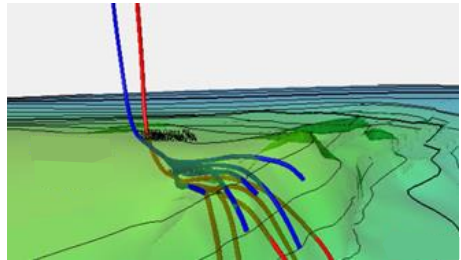
# Selección de Trayectorias de Pozos de Avanzada Mediante Optimización Robusta



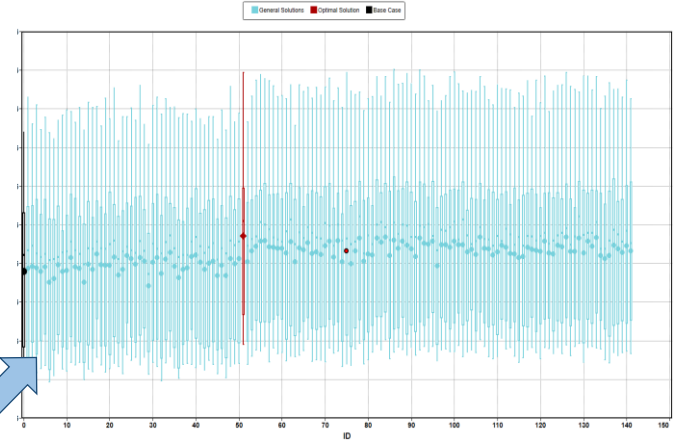
9 Estudios Dependientes (3xP10, 3xP50 y 3xP90)

Pozo Oeste 1	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 2	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 3	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 4	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 5	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 6	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 7	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 8	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 9	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 10	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 11	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 12	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3

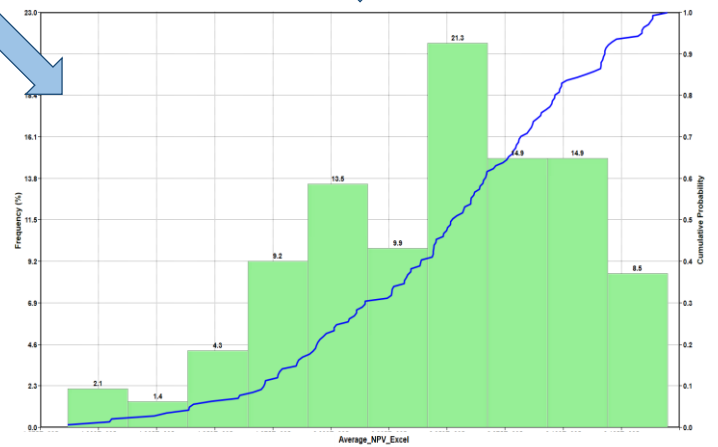
Parámetros: 12 Pozos en Zona Oeste con 3 Trayectorias Alternativas para Cada Uno



Motor de Optimización Robusta: VAN Promedio de los 9 Estudios Dependientes



Valor Actual Neto Promedio



# Optimización Robusta



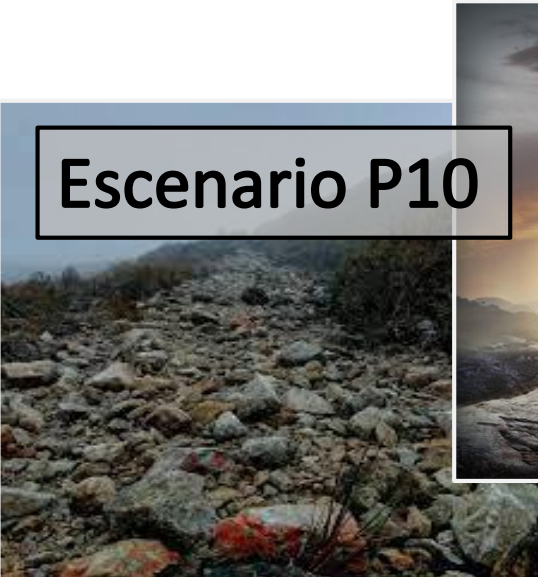
Escenario P90



Trayectoria 1



Escenario Incierto



Escenario P10



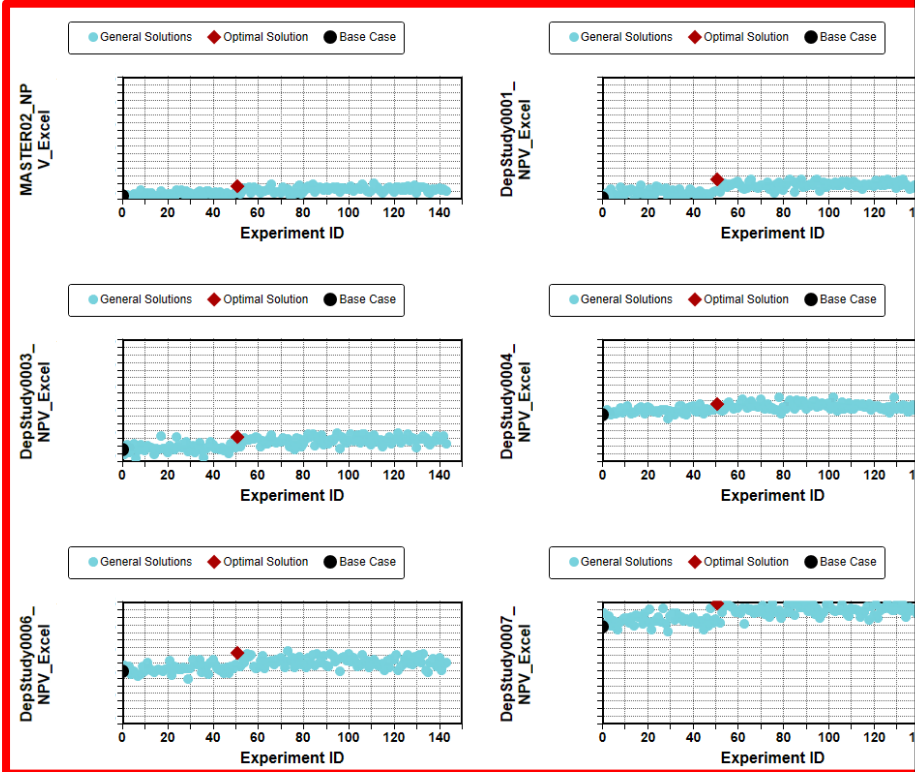
Trayectoria 2



Trayectoria Óptima

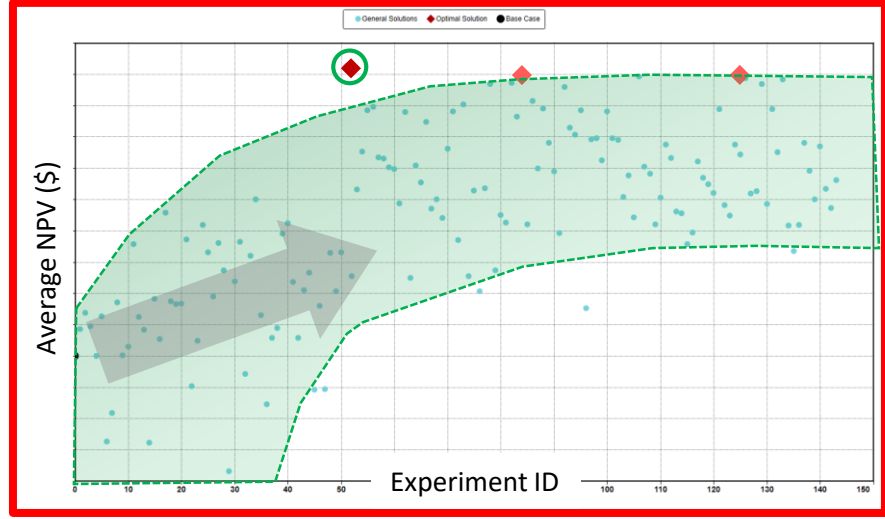


# Trayectoria de Pozos de Avanzada – Resultados VPN



Pozo Oeste 1	* <b>Trayectoria 1</b> * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 2	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * <b>Trayectoria 3</b>
Pozo Oeste 3	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * <b>Trayectoria 3</b>
Pozo Oeste 4	* <b>Trayectoria 1</b> * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 5	* Trayectoria 1 * <b>Trayectoria 2 (Caso Base)</b> * Trayectoria 3
Pozo Oeste 6	* Trayectoria 1 * <b>Trayectoria 2 (Caso Base)</b> * Trayectoria 3
Pozo Oeste 7	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * <b>Trayectoria 3</b>
Pozo Oeste 8	* Trayectoria 1 * Trayectoria 2 (Caso Base) * <b>Trayectoria 3</b>
Pozo Oeste 9	* <b>Trayectoria 1</b> * Trayectoria 2 (Caso Base) * Trayectoria 3
Pozo Oeste 10	* Trayectoria 1 * <b>Trayectoria 2 (Caso Base)</b> * Trayectoria 3
Pozo Oeste 11	* Trayectoria 1 * <b>Trayectoria 2 (Caso Base)</b> * Trayectoria 3
Pozo Oeste 12	* Trayectoria 1 * <b>Trayectoria 2 (Caso Base)</b> * Trayectoria 3

$$Avg\ NPV = \frac{DS1 + DS2 + DS3 + DS4 + DS5 + DS6 + DS7 + DS8 + DS9}{9}$$

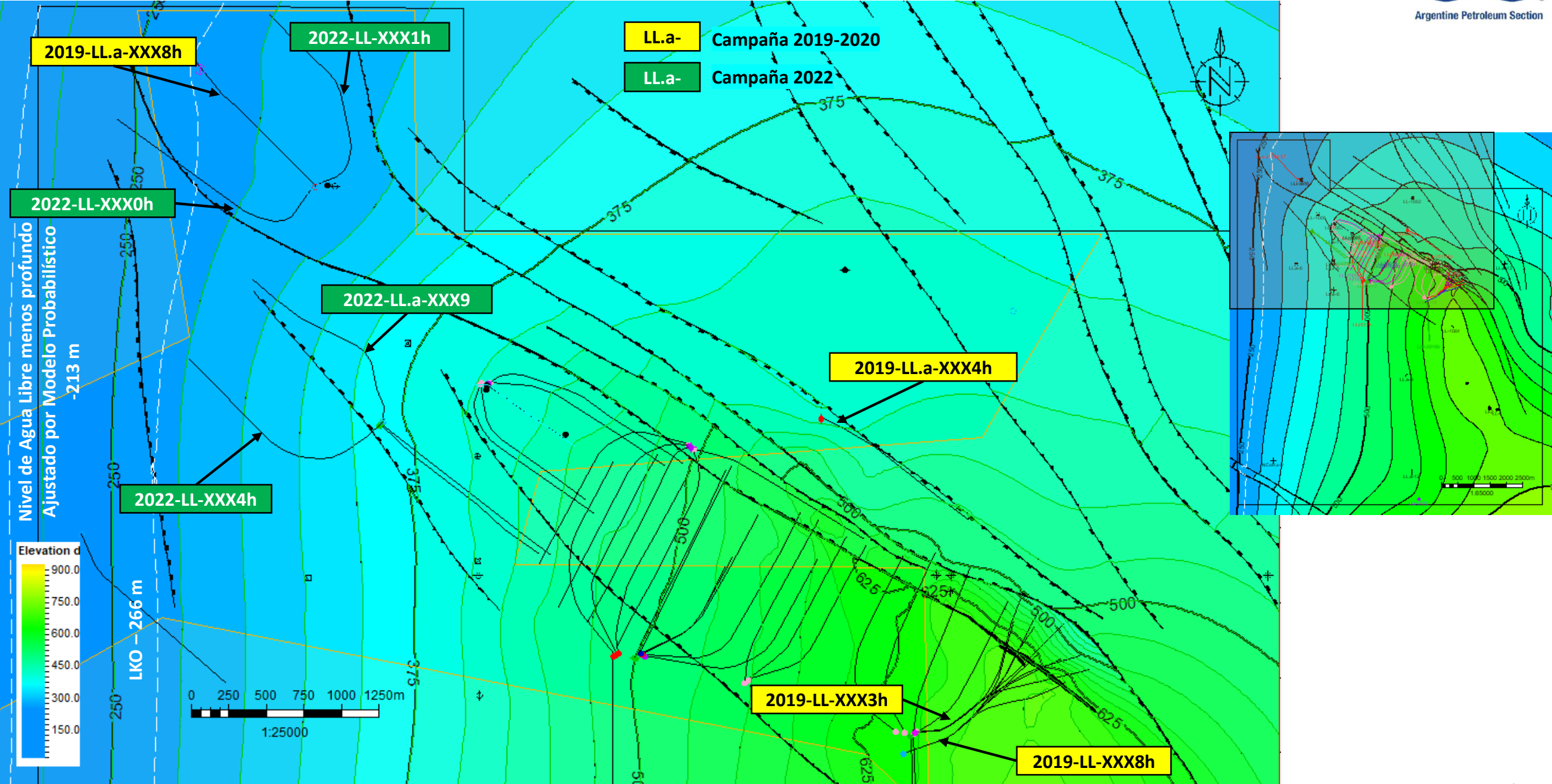


## NPV Results for Dependent Studies



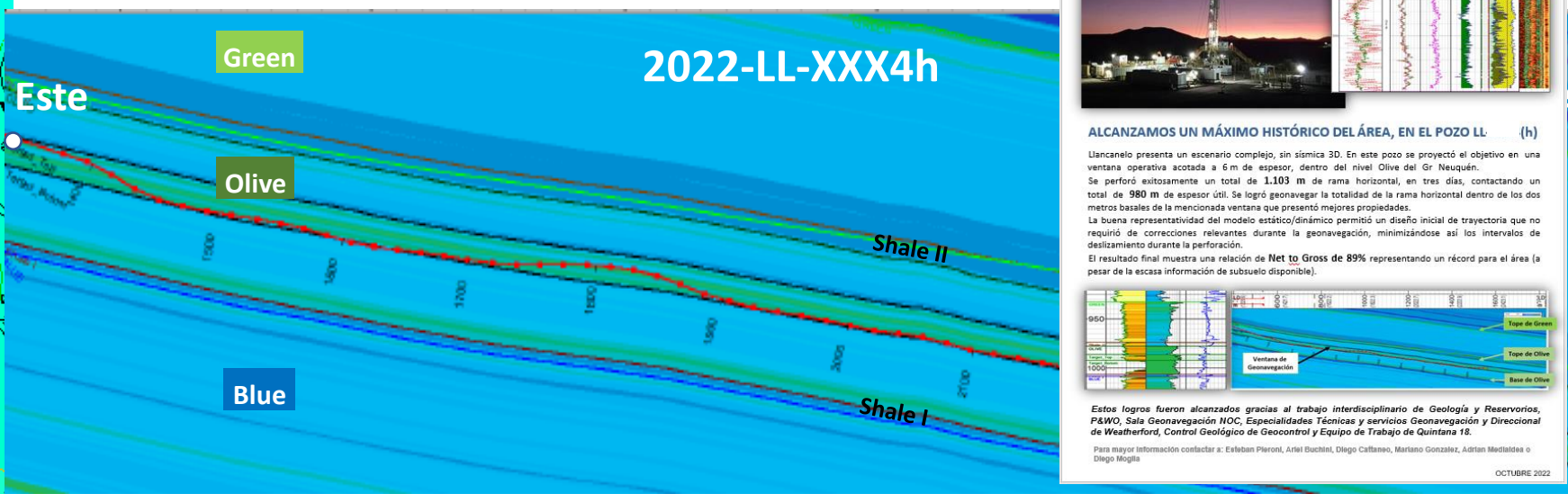
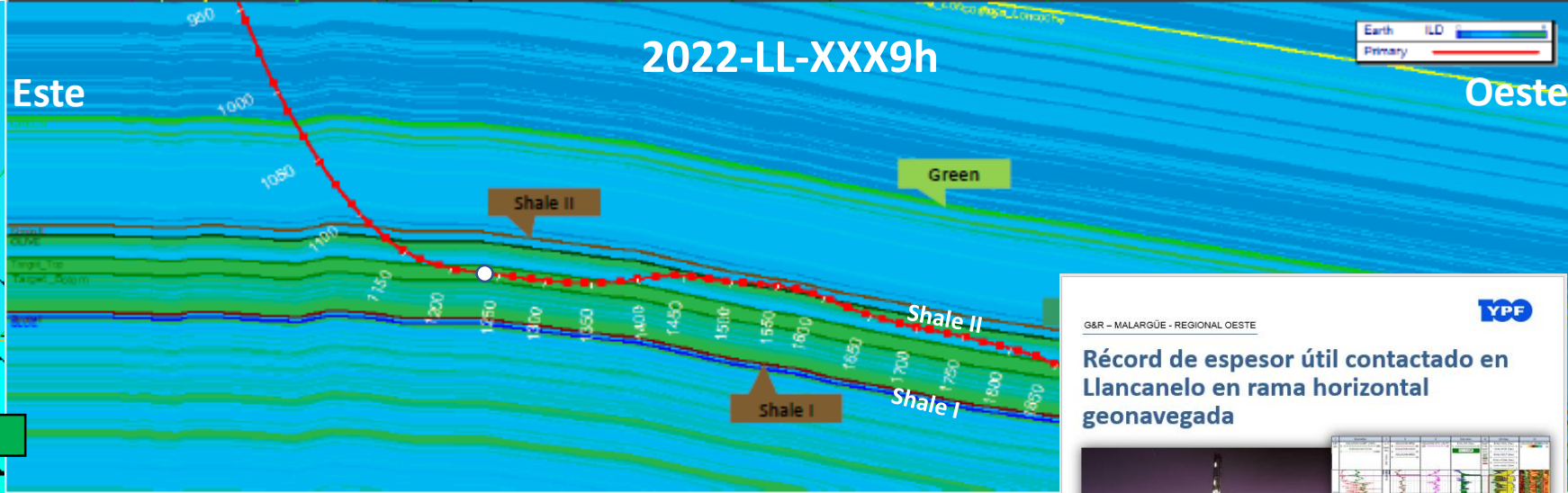
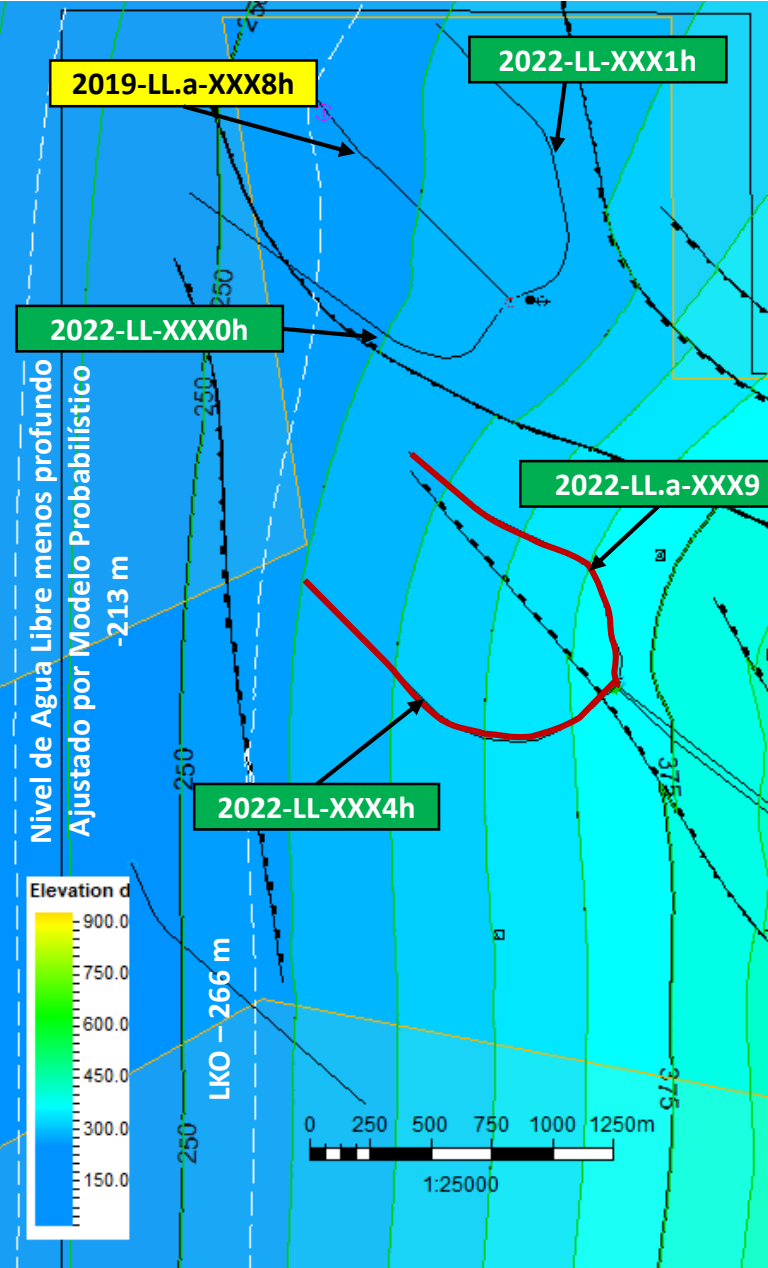


# Campañas 2019-2020 y 2022 – Resultados y Ubicación de pozos





# Campaña 2022 – Resultados y Ubicación de pozos



G&R – MALARGÜE - REGIONAL OESTE

**Récord de espesor útil contactado en Llanccanelo en rama horizontal geonavegada**

**ALCANZAMOS UN MÁXIMO HISTÓRICO DEL ÁREA, EN EL POZO LL-XXX4(h)**

Llanccanelo presenta un escenario complejo, sin sísmica 3D. En este pozo se proyectó el objetivo en una ventana operativa acotada a 6 m de espesor, dentro del nivel Olive del Gr Neuquén. Se perforó autosotamente un total de 1.103 m de rama horizontal, en tres días, contactando un total de 980 m de espesor útil. Se logró geonavegar la totalidad de la rama horizontal dentro de los dos metros basales de la mencionada ventana que presentó mejores propiedades. La buena representatividad del modelo estático/dinámico permitió un diseño inicial de trayectoria que no requirió de correcciones relevantes durante la geonavegación, minimizándose así los intervalos de deslizamiento durante la perforación. El resultado final muestra una relación de **Net to Gross de 89%** representando un récord para el área (a pesar de la escasa información de subsuelo disponible).

Estos logros fueron alcanzados gracias al trabajo interdisciplinario de Geología y Reservorios, P&WO, Sala Geonavegación NOC, Especialidades Técnicas y servicios Geonavegación y Direccional de Weatherford, Control Geológico de Geocontrol y Equipo de Trabajo de Quintana 18.

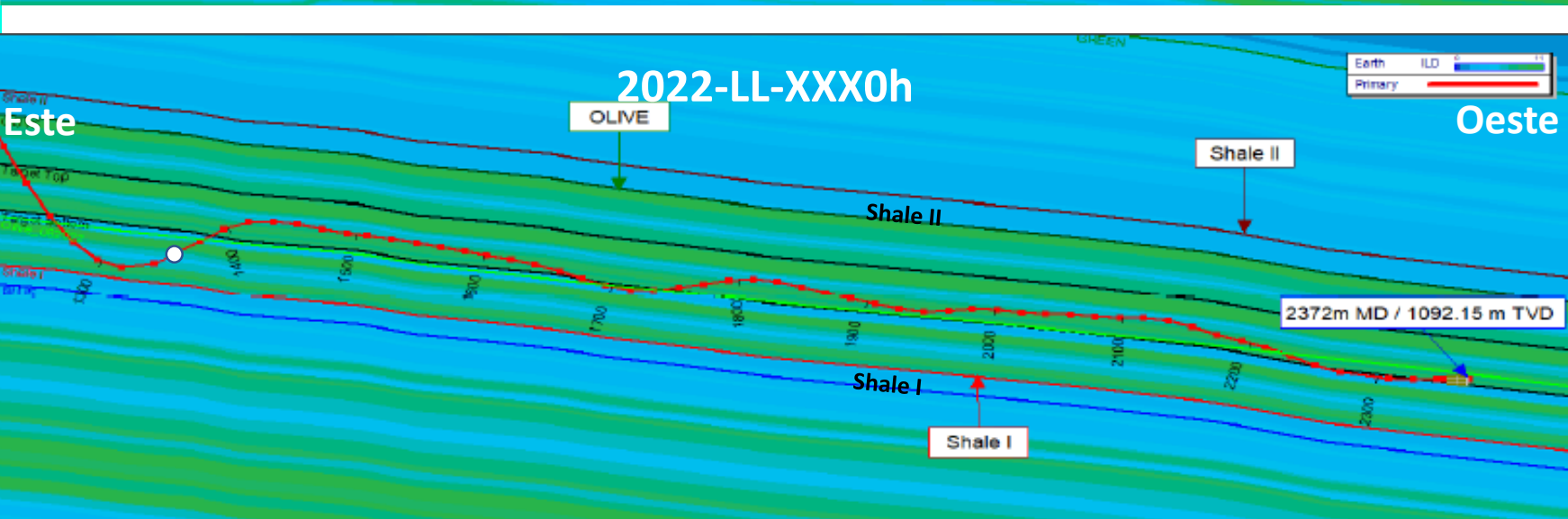
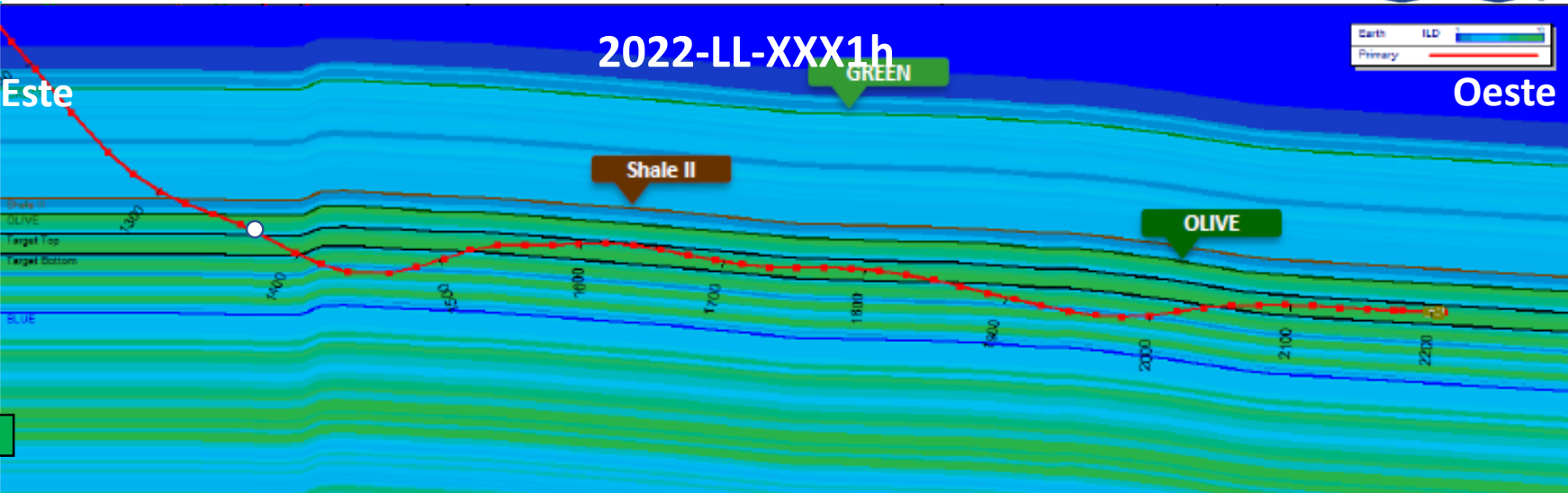
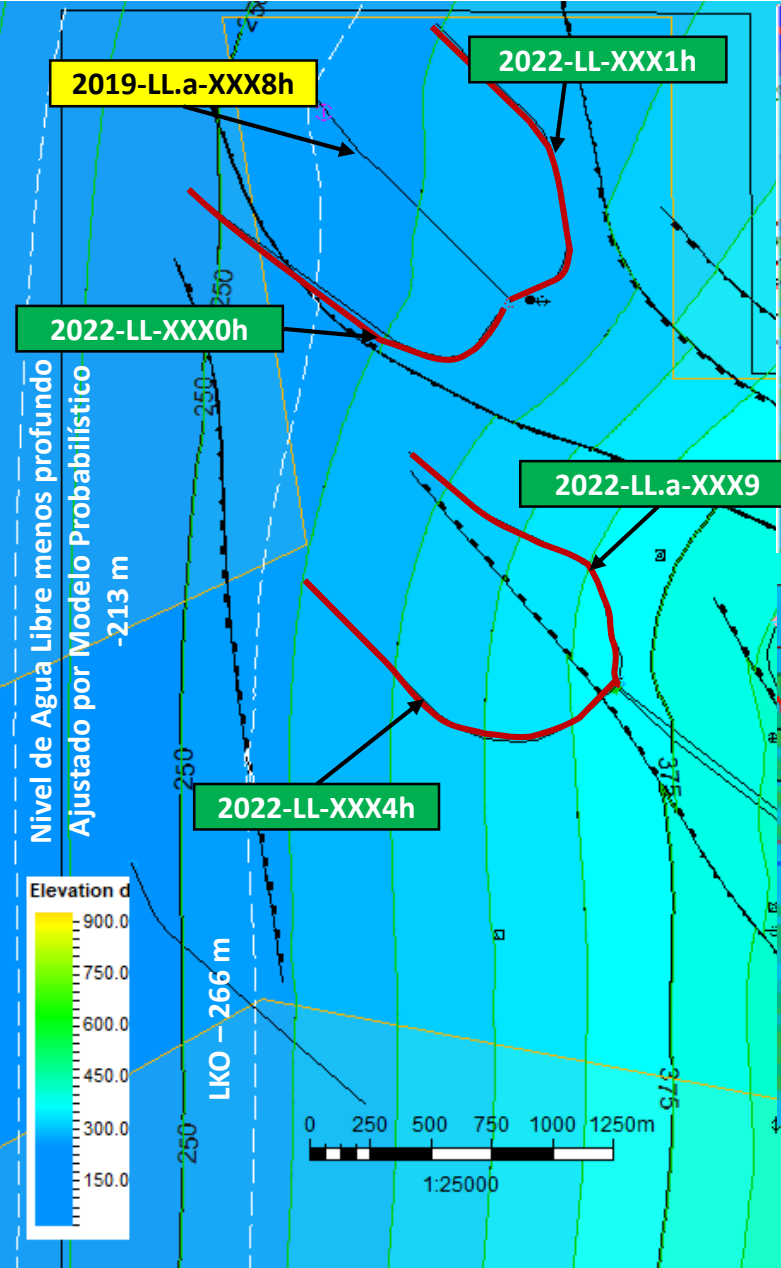
Para mayor información contactar a: Esteban Pieroni, Ariel Duchini, Diego Caffareo, Mariano Gonzalez, Adrian Medialdea o Diego Moglia

OCTUBRE 2022

Well	Zone Name	Units	Top	Bottom	Gross	Net	N/G	Av Phi	Av Sw	Av Vcl
2022-LL-XXX9(h)	Olive	m	1229	2209	980,00	564,30	0,58	0,19	0,53	0,20
2022-LL-XXX4(h)	Olive	m	1360	2463	1103,00	960,58	0,87	0,21	0,44	0,16



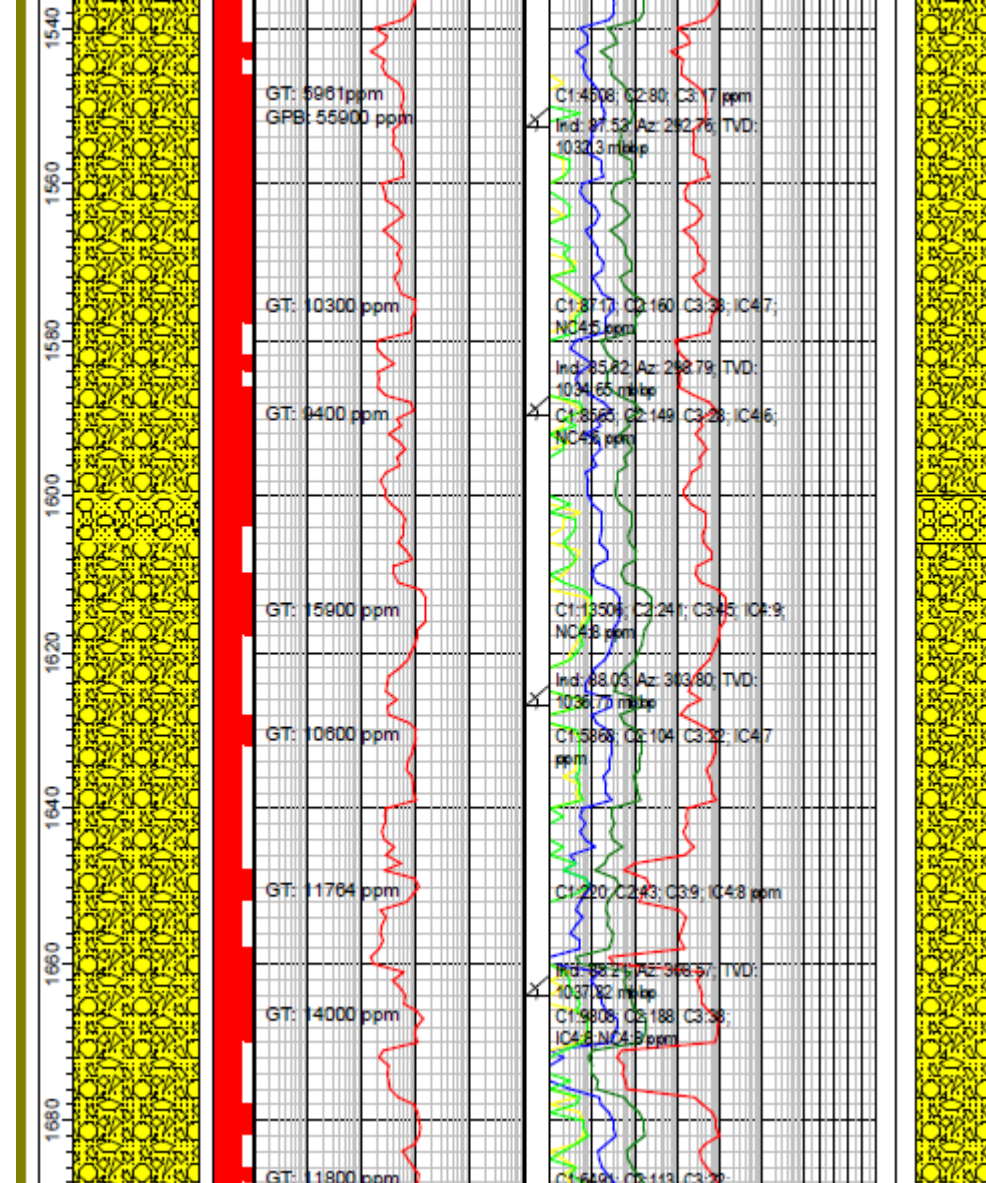
# Campaña 2022 – Resultados y Ubicación de pozos



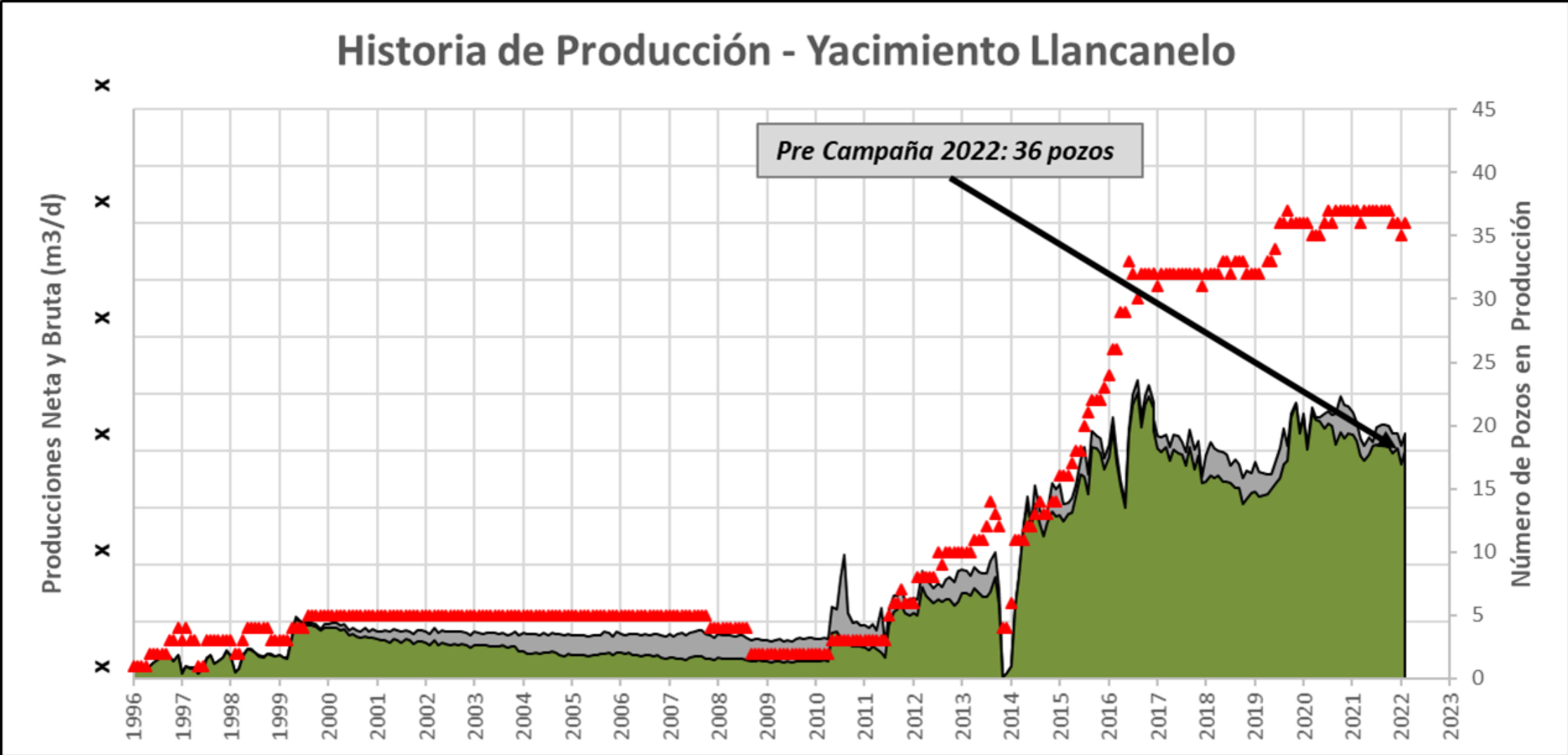
Well	Zone Name	Units	Top	Bottom	Gross	Net	N/G	Av Phi	Av Sw	Av Vcl
2022-LL-XXX1h	Olive	m	1383	2199	816,60	380,10	0,47	0,21	0,44	0,24
2022-LL-XXX0h	Olive	m	1352	2375	1014,75	820,70	0,81	0,21	0,41	0,29

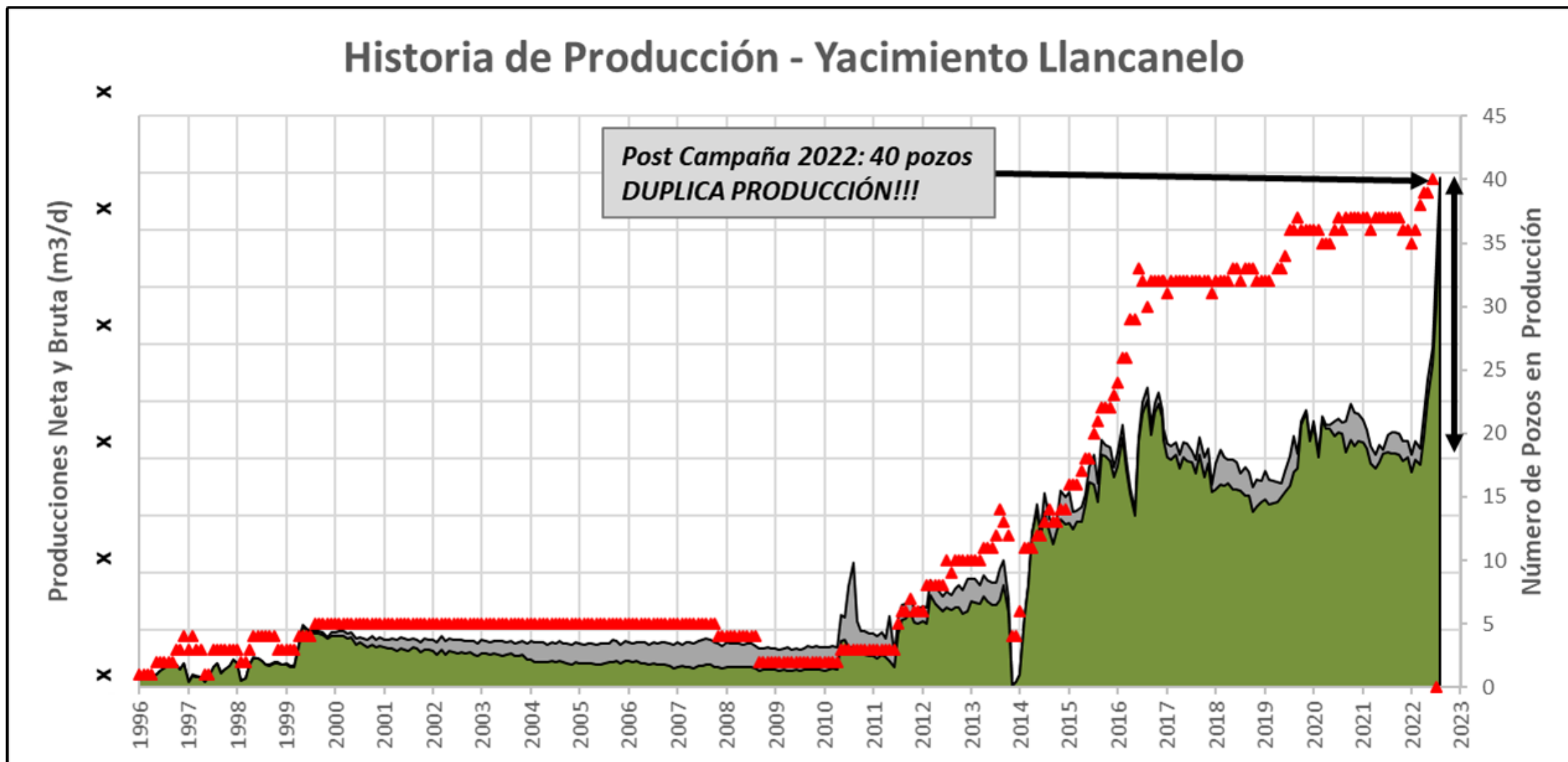


# Campaña 2022 – Control Geológico



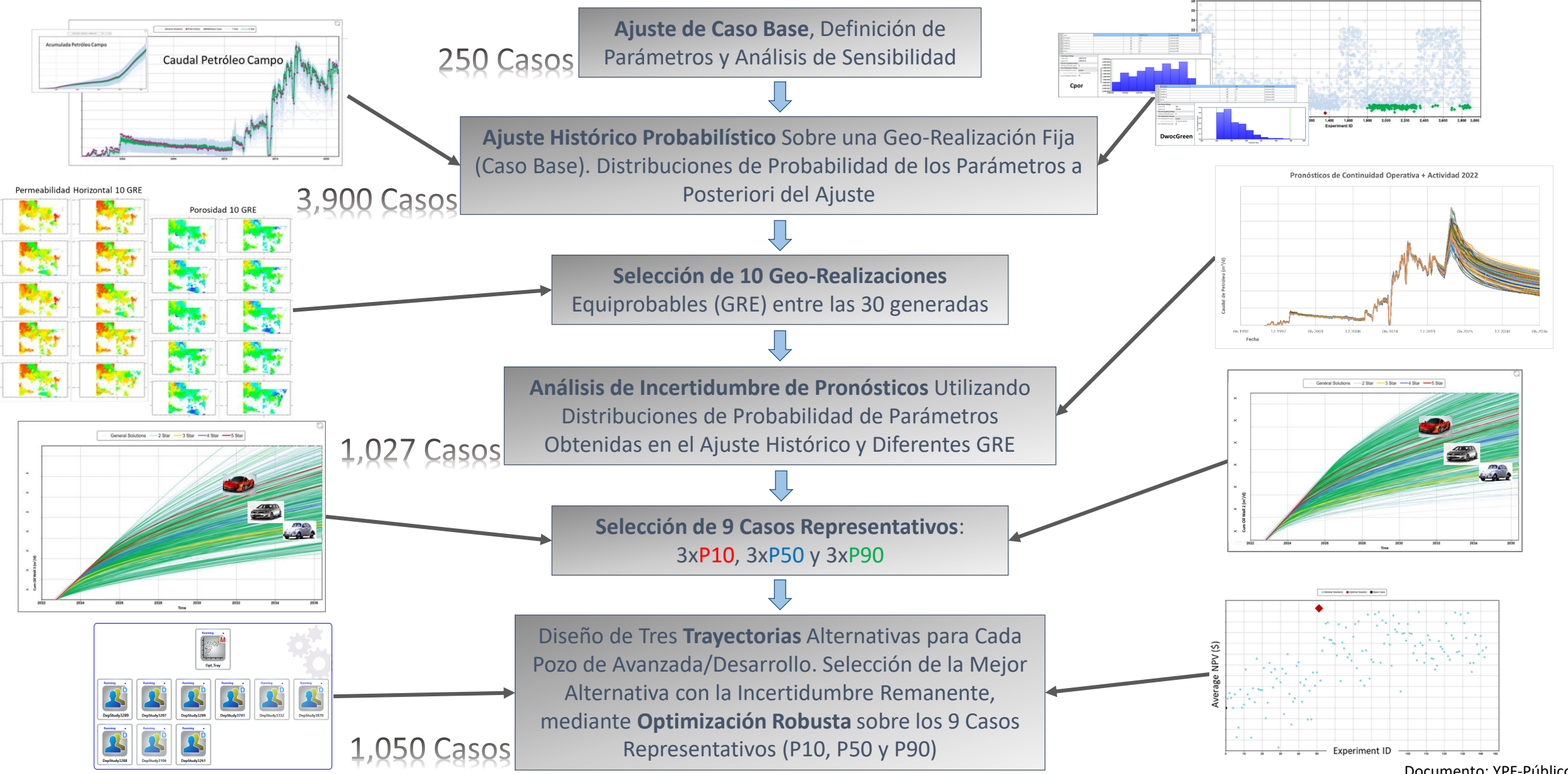








# Selección de Trayectorias de Pozos de Avanzada/Desarrollo Mediante Optimización Robusta



## Conclusiones y Próximos pasos

- ***La actualización del modelo de Llanquihue se realizó mediante un flujo de trabajo con enfoque probabilístico, integrando las disciplinas de Geología, Petrofísica, Geofísica e Ing. de Reservorios. La metodología implicó un ida y vuelta permanente del modelo, de especialidad en especialidad, ajustando los intervalos de incertidumbre razonables para cada uno de los parámetros de incertidumbre considerados (tanto estáticos como dinámicos).***
- ***Los pozos perforados en 2022, en la zona Oeste, han mostrado un alto potencial productivo, confirmando la buena representatividad de los pronósticos probabilísticos obtenidos del modelo. La geonavegación de los pozos dentro de intervalos muy acotados para contactar mejores propiedades petrofísicas ha demostrado alta influencia en la productividad de los pozos.***
- ***Actualmente se está actualizando nuevamente el modelo con la información de los pozos 2022 para reducir la incertidumbre del desarrollo proyectado en la zona oeste. Al mismo tiempo se estudian oportunidades en otras zonas de la concesión aún sin desarrollar, con altos niveles de incertidumbre geológica y petrofísica debido a la ausencia de pozos, y falta de mediciones confiables de temperatura de fondo y fluidos.***
- ***Nuevos datos y nuevas miradas permiten seguir creciendo en el conocimiento y generan nuevas oportunidades.***





*Espacio de Preguntas*





***Muchas Gracias!***