



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



PAAS

Plan de acción
de aguas subterráneas

1

JORNADA TÉCNICA SOBRE IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



PAAS

Plan de acción
de aguas subterráneas

JORNADA TÉCNICA SOBRE IMPLANTACIÓN DEL
PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



ayterra
estudios y proyectos SL
AGUA Y TERRITORIO

2

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACÚIFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

AYTERRA ESTUDIOS Y PROYECTOS

¿A qué nos dedicamos?

UBICADA EN SEVILLA Y FUNDADA EN 2013 POR EXTRABAJADORES DE CGS, ENTRE LAS PRINCIPALES LÍNEAS DE TRABAJO DESTACAN POR SU ELEVADO GRADO DE ESPECIALIZACIÓN LAS MATERIAS DE AGUAS E HIDROGEOLOGÍA:

- HIDROGEOLOGÍA APLICADA A LA MINERÍA
- CÁLCULO DEL DRENAJE DE MINA MEDIANTE MODELIZACIÓN NUMÉRICA
- ASISTENCIA Y ASESORÍA TÉCNICA CONTINUA, CARACTERIZADA POR LA PROXIMIDAD Y CERCANÍA AL CLIENTE
- ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS Y EVALUACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIALIZADA
- INSTRUMENTACIÓN Y TELEMETRÍA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE REDES DE HIDROMETRÍA
- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONES DE AFORO, PIEZÓMETROS, SONDEOS.
- CONTROL HIDROGEOQUÍMICO, MUESTREO DE AGUAS. ENSAYOS DE BOMBEO.
- TRAMITACIÓN DE CONCESIONES DE AGUAS



MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

AYTERRA ESTUDIOS Y PROYECTOS

Principales clientes...

PROYECTOS/EMPRESAS MINERAS

AGUABLANCA-RNR

COBRE LAS CRUCES – FIRST QUANTUM

THARSIS-LA ZARZA. THARSIS

AGUAS TEÑIDAS, MAGDALENA, SOTIEL – SANDFIRE MATSA

OROPESA- MESPA – ELEMENTOS LTD

RIOTINTO-MASA VALVERDE – ATALAYA MINING

LOS FRAILES (AZNALCÓLLAR)- MLF - GRUPO MÉXICO

MUGA (GEOALCALI) – HIGHFIELD RESOURCES

ALJUSTREL- ALMINA MINAS DO ALENTEJO

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL CONTROL DEL DPH

EMPRESAS ENERGÉTICAS

NATURGY

TRINITY ENERGY STORAGE

TARBA ENERGY

H2B2

PROYECTOS I+D+I

UNDERGY

ADMINISTRACIÓN

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – JUNTA DE ANDALUCÍA

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA PROPUESTA DE DECLARACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA ALMONTE - MARISMAS- LA ROCINA EN RIESGO DE NO ALCANZAR UN BUEN ESTADO CUANTITATIVO



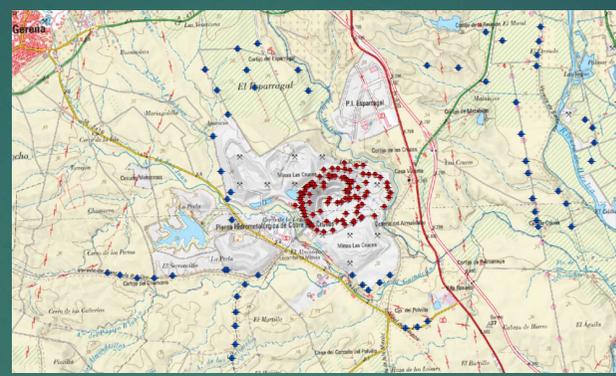
MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

MINA COBRE LAS CRUCES

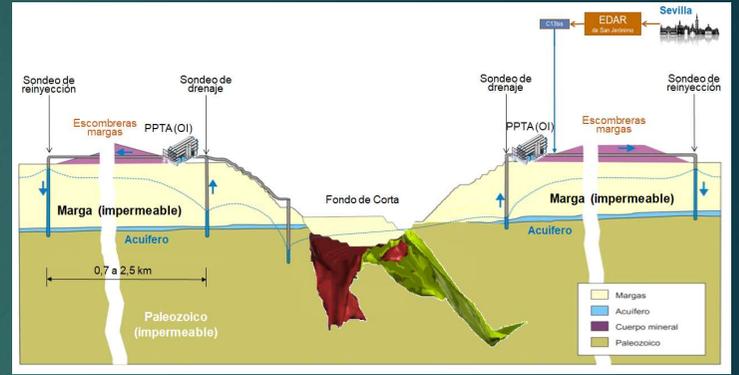
Proyecto mina de exterior, corta actual (Finalizado)

Cobre las Cruces (CLC) finalizó en 2021 la explotación a cielo abierto del yacimiento de cobre situado entre los términos municipales de Gerena, Guillena y Salteras .

El yacimiento mineral, compuesto por sulfuros primarios y secundarios de cobre y otros metales, se encuentra a partir de los 140 m de profundidad, en el seno de materiales paleozoicos, sobre el que descansa el acuífero Niebla-Posadas, confinado a su vez bajo un potente paquete de margas azules (Mioceno).



Proyecto mina de interior (no iniciado)



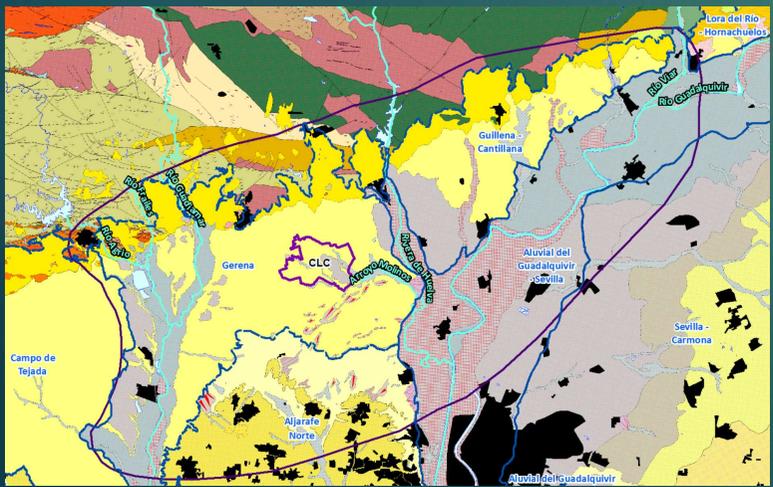
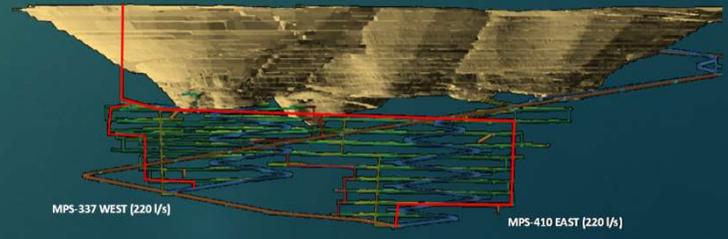
Sistema de Drenaje y Reinyección (SDR)

Drenan las labores mineras minimizando las afecciones al DPH subterráneo del entorno.

Se drena el agua a través de un anillo interior de sondeos, y posteriormente se inyecta en el acuífero mediante el anillo de reinyección.

A día de hoy, el caudal medio operado en el SDR suele ser del orden de 10.000 m³/día en extracción y 11.000 m³/día en inyección.

- Yacimiento mineral y labores hasta -400 msnm (incremento del gradiente hidráulico en SDR).
- Aumento del volumen de agua gestionado por el SDR.
- Mayor expansión del cono de afección piezométrica.



MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

OBJETO MODELO HIDROGEOLÓGICO

OBJETO INICIAL DEL MODELO

24/10/2013 Resolución CHG: Autorización de modificación de características de las obras del Sistema de Drenaje-Reinyección (SDR):

La previsión de rangos de caudal de aguas subterráneas serán definidos por el IGME de forma anual, en base a la predicción obtenida mediante la versión más reciente del modelo hidrogeológico de CLC, calibrado por CLC con la conformidad del IGME.

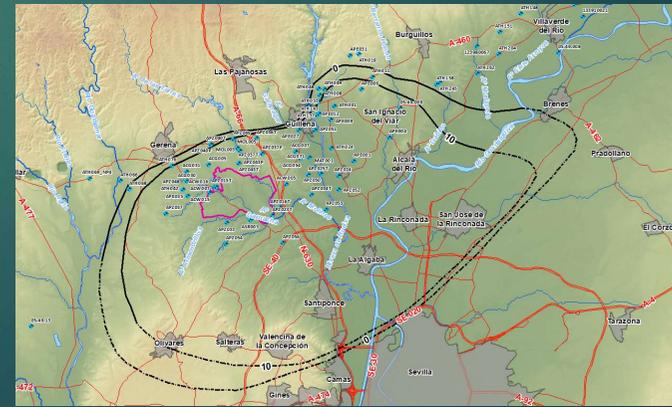
Otros objetivos secundarios:

- Sintetizar y estructurar, en una herramienta de cálculo y gestión, toda la información hidrogeológica disponible.
- Ajustar los parámetros hidrodinámicos del acuífero Niebla-Posadas en el sector de Las Cruces, a través de la calibración del modelo.
- Detectar y corregir posibles lagunas de información para mejorar el conocimiento hidrogeológico del entorno.
- Comprobar la exactitud de los datos que van siendo obtenidos.
- Predecir la evolución de la piezometría, balance hídrico y calidad del agua.
- Desarrollar los criterios de análisis de la calidad del ajuste, estableciendo medidas del error y de la eficiencia de la calibración.

MODELO VIVO – MEJORA CONTINUA

- El modelo requiere una actualización continua conforme mejora el conocimiento del paleozoico y el terciario. Además se realiza un calibración, un cálculo de la recarga y de extracciones por regadío de forma anual, y requiere de una supervisión también anual por parte de la administración CHG – IGME.
- Tras 10 años, el modelo cuenta con información de gran detalle y un elevado grado de contraste sobre el terreno.
- Inicialmente, mucha información en el entorno de la mina y escasa en el resto de la MASb. Se ha ido solventando y actualmente información muy completa en toda la MASb.

OBJETO SOBREVENIDO:
Año 2019. Cumplimiento de los requisitos y exigencias previstas en la DMA sobre objetivos medioambientales para MASb y sus excepciones –artículo 4.7 DMA-. Evaluación de la modificación de la piezometría de la MASb, medidas mitigadoras y afección potencial. Apoyada en el modelo “MHG 2019”.

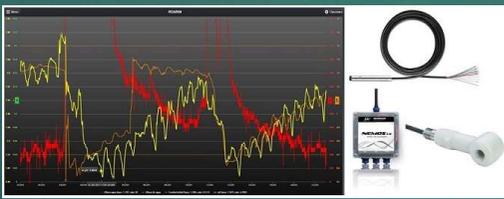
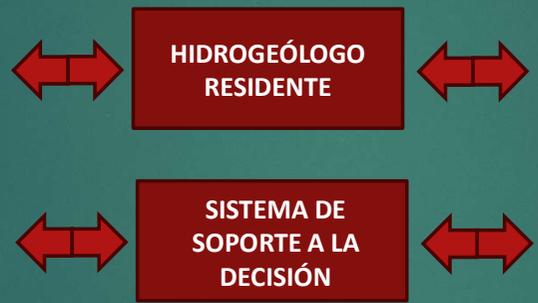


MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

UTILIDADES DEL MODELO

Herramienta de utilidad para CLC

- Cálculo del drenaje de la mina de interior.
- Predicción de irrupciones de agua en galerías.
- Optimización y distribución de caudales de drenaje e inyección (SDR).
- Diseño, ubicación y planificación de nuevos sondeos o piezómetros.
- Gestión del riesgo de artesianismo por inyección.
- Elaboración del Plan de Clausura
- Evaluación de escenarios (cambio climático, operativa del SDR, etc)



Tramitación del Art 4.7 DMA de Cobre Las Cruces

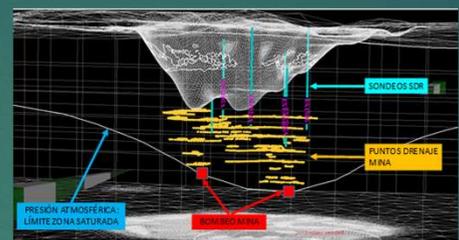
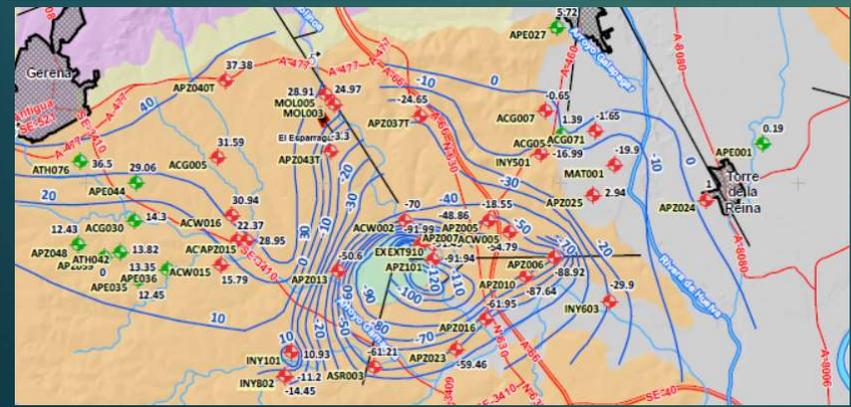
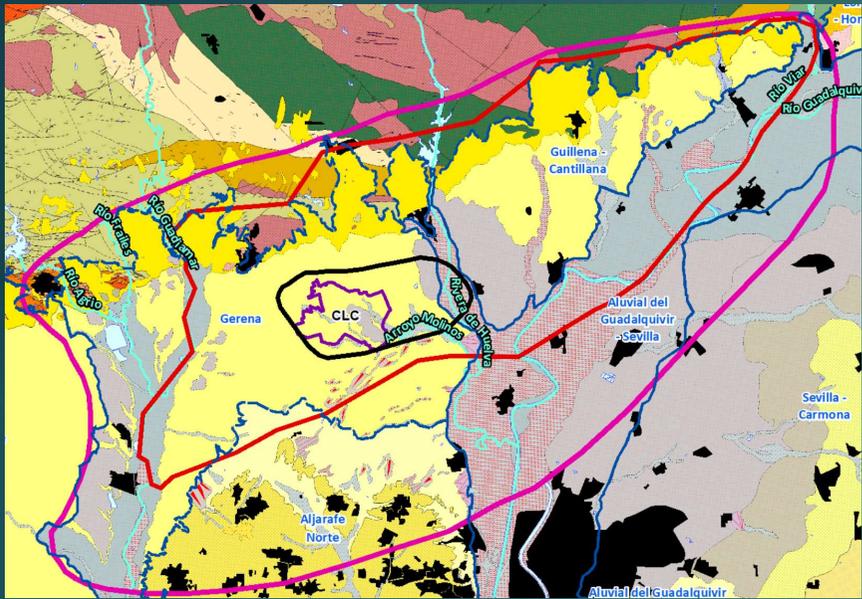
Herramienta de utilidad para CHG

- Control del DPH. Seguimiento piezométrico MASb, grado de cumplimiento de los niveles piezométricos preestablecidos.
- Distribución de la inyección y drenaje para minimización de efectos sobre la piezometría.
- Control de la situación actual de los derechos otorgados en Catálogo de Aguas Privadas (la mayoría de las captaciones existentes), validez y situación real para la compra-venta de derechos de agua.
- El modelo es una herramienta muy eficaz para comprobar la coherencia-validez de los balances hídricos asignados a las MASb.
- Seguimiento de las autorizaciones de riegos extraordinarios con aguas superficiales en zonas sobreexplotadas.

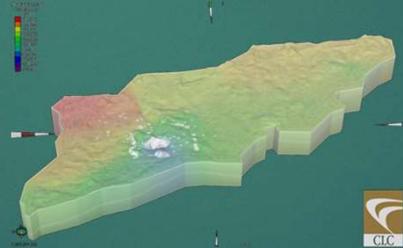
Compatibilización proyecto minero y sostenibilidad de las MASb Gerena y Guillena-Cantillana. Minimización de efectos sobre el DPH, usuarios (Terceros) y ecosistemas dependientes de las MASb.

MODELO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

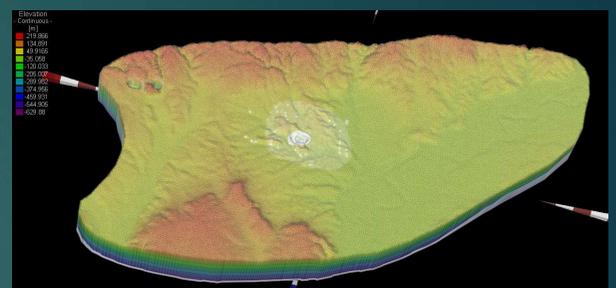
EVOLUCIÓN DEL MODELO EN 10 AÑOS



Cálculo drenaje de mina (PMR)
Mallado No estructurado
Sup: 33 km²
EF: 2,2 M Nodos: 1,1 M



Primer modelo regional
4 Capas
Sup: 336 km²
EF: 0,6 M Nodos: 0,4 M
Geometría de la corta muy variable



Modelo actual (desde 2022). Fusión 2 modelos.
34 Capas
Sup: 717 km²
EF: >3 M Nodos: 1,1 M

- Ampliación del área modelizada, hasta incluir las MASb Gerena y MASb Guillena-Cantillana.
- Inclusión del proyecto PMR. Actualización del modelo geológico del paleozoico, inclusión de los desarrollos de mina de interior, y condiciones de contorno para cálculo de drenaje.
- Inclusión de la corta Los Frailes, para definir y simular el comportamiento hidrogeológico en esa zona.
- Consideración de los recursos renovables del Paleozoico

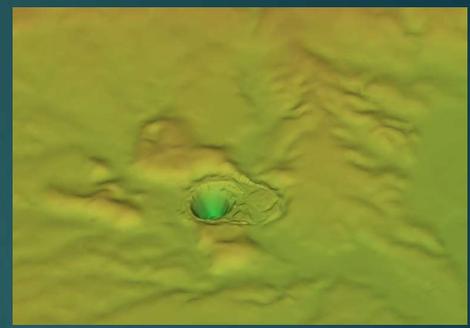
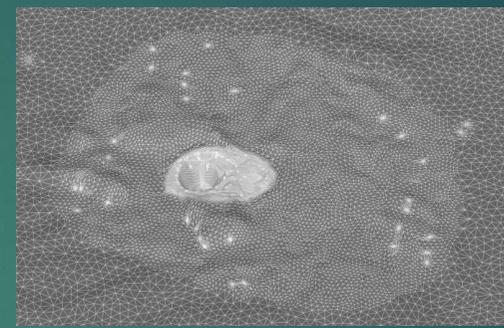
MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MODELO I

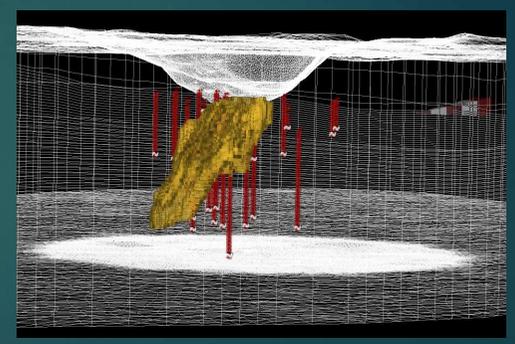
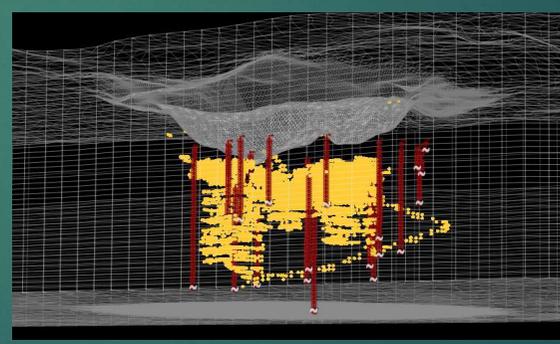
Código de Cálculo: FEFLOW 7.5 (DHI). Elementos finitos

La aplicación de elementos finitos aporta ventajas de importancia en el presente caso con respecto al uso de métodos de diferencias finitas, entre los que destacan:

- La adaptabilidad del mallado de elementos a la geometría tridimensional, a la estratigrafía y a la geología estructural existentes.
- La precisión alcanzable a escala local en singularidades (sondeos) y contornos sin implicar el sobremallado de las zonas más regulares.
- El secado de nodos no es irreversible y permite simular el flujo no saturado.
- Más estabilidad en la resolución de la ecuación del flujo en modelos complejos.
- Mayor versatilidad en la definición de las condiciones de contorno.
- Facilita la simulación de la zona de tránsito libre-confinado.



Zona con resolución espacial de EF de 150 , 20, 5 m sin suponer sobremallado



ELEMENTOS FINITOS: modelos geológicos complejos, obra civil y minería, necesidad de implantar geometrías con gran detalle.

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MODELO II

Recarga

Infiltración agua de lluvia Actualización anual, paso diario, balance del suelo con TRASERO, balance ion cloruro
Infiltración red de drenaje Actualización anual, paso diario, relación río-acuífero: aforos diferenciales

Extracciones

Discriminación de las tomas según uso, cultivo y dotaciones aplicadas; actualización de la superficie regada con ortofotos y trabajo de campo, cartografía de las fincas acogidas a los Riegos Extraordinarios de la Zona Regable del Viar, lectura de contadores y encuestas municipales

Parámetros hidráulicos

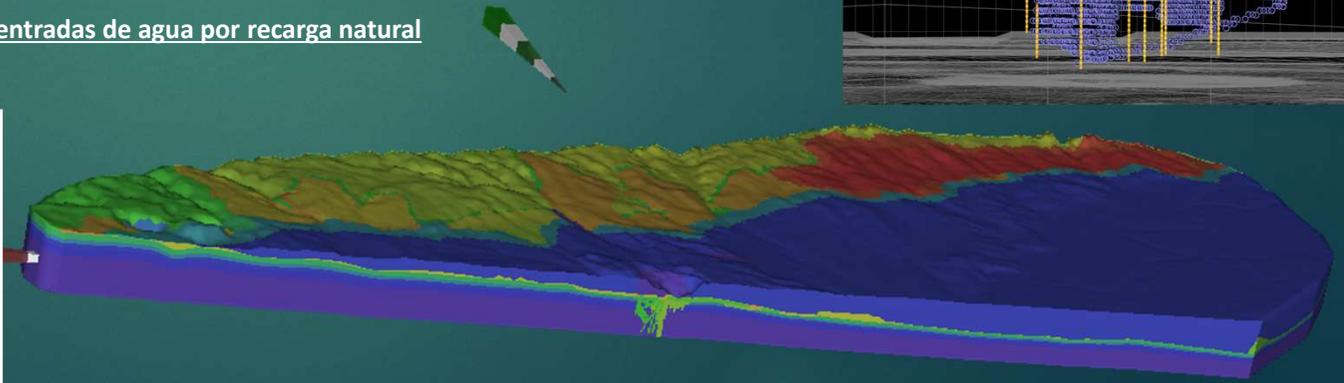
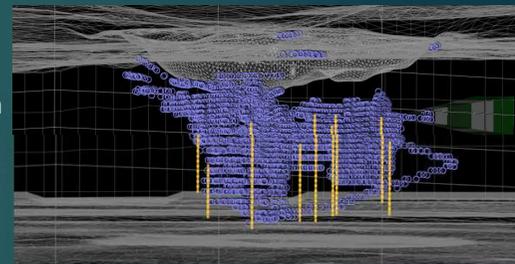
Ensayos de bombeo: IGME en pozos de abastecimiento urbano, CLC/CGS en sondeos del SDR, ensayos de permeabilidad Lugeon y Lefranc, testificación de sondeos de investigación.

Condiciones de contorno

- Dirichlet, Seepage BC (1^{er} Tipo): embalses, cortas inundadas, surgencia en fondo de corta, cálculo de drenaje de mina (presión 0)
- Neumann (2^{er} Tipo): Borde Sur del modelo
- Cauchy (3^{er} Tipo): Surgencia en fondo de corta (primera versión del modelo)
- MultiLayer Well: Condición pozo. SDR, extracciones para riego y abastecimiento, drenes en interior de mina

Balance

El volumen de agua gestionada en mina es similar a las entradas de agua por recarga natural

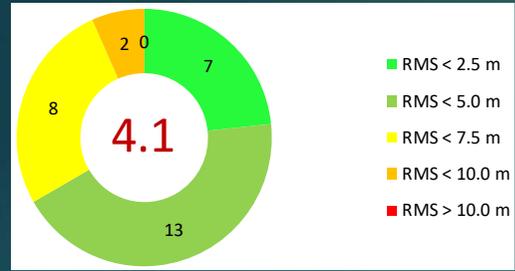


MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MODELO III

Calibración

- Periodo: 2011 a 2023 (Mina exterior)
- 35 puntos de control
- Objetivo: RMS Global < 5 m



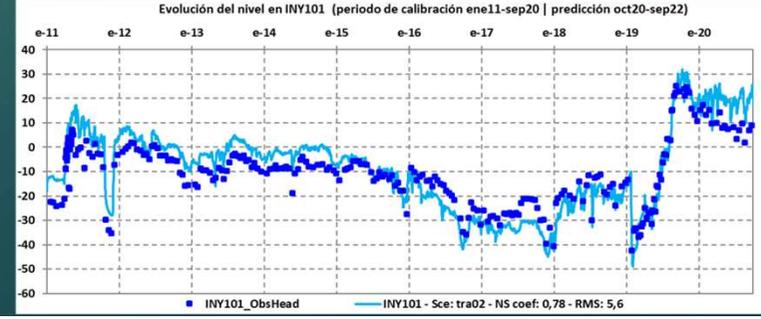
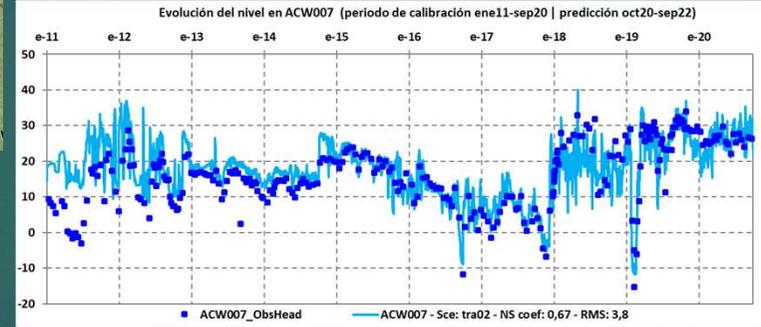
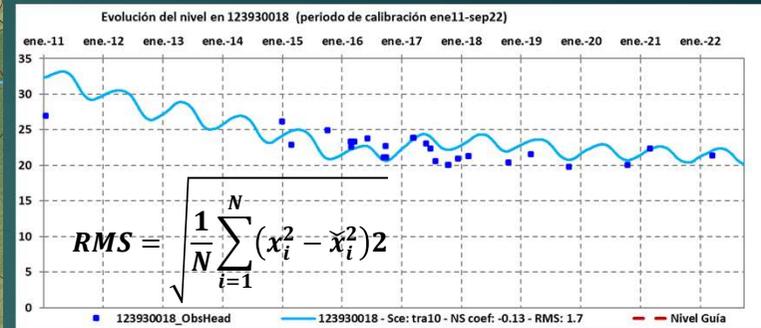
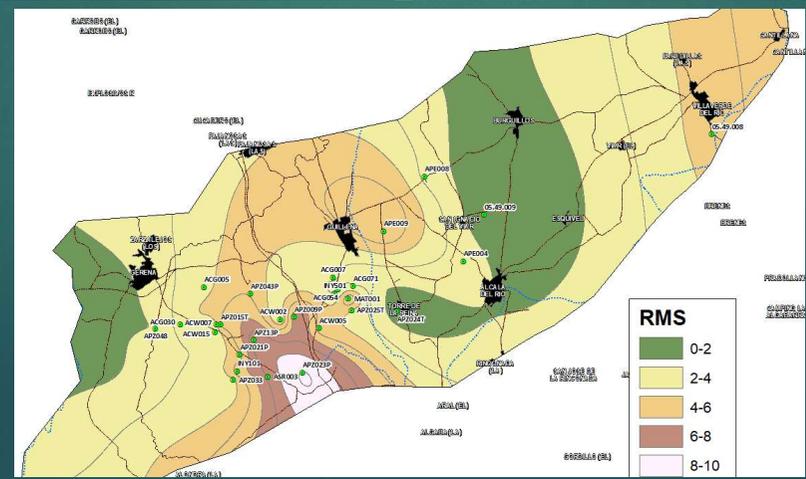
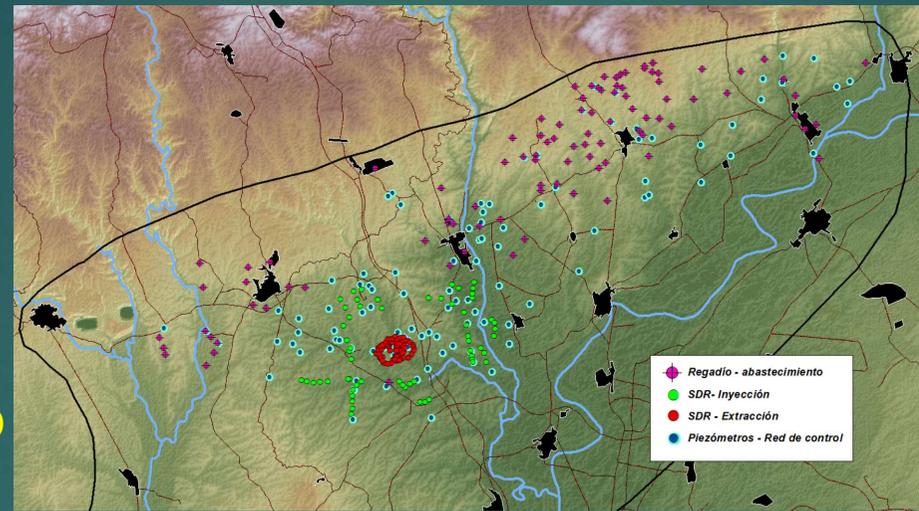
Error cuadrático medio (Root Mean Squared)

- Elevada complejidad en la calibración.

- Modelo regional para la gestión de una masa de agua, acoplado a un modelo de detalle de desagüe de mina con sistema de drenaje/inyección que genera gradientes hidráulicos muy elevados.

- Oscilaciones piezométricas que en algunos puntos alcanzan 80 m.

- Se estableció objetivo RMS global inferior a 5 m





GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO



PAAS

Plan de acción de aguas subterráneas

JORNADA TÉCNICA SOBRE IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



11

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

RESUMEN - CONCLUSIONES

Modelo vivo

Se trata de un modelo numérico que ha ido evolucionando en función de los avances en el conocimiento:

- Modelo conceptual de funcionamiento
- Conocimiento de la geología regional
- Conocimiento del propio yacimiento
- De la disponibilidad de recursos hídrico
- De la actividad agrícola
- Actualizado y supervisado anualmente (CHG-IGME)

Modelo útil

Tras 10 años de evolución, se ha convertido en una herramienta de gran utilidad tanto para CLC, como para la propia CHG.

- Conocimiento detallado y actualizado de la MASb
- Control del DPH por la actividad minera, e indirectamente, por la actividad agrícola
- Control de la situación del Catálogo de Aguas Privadas, validez de la compra-venta de derechos de agua
- Planificación, coherencia de balance asignado a MASb
- Tramitación art. 4.7 de la DMA

Modelo complejo

El modelo actual es el resultado de la fusión de un modelo regional (MASb Gerena + MASb Guillena-Cantillana) y un modelo de detalle de CLC destinado al cálculo del drenaje de mina subterránea.

- Elevado coste computacional, >3 Millones de EF
- Periodo de calibración de 13 años, a paso diario
- Simulación del SDR, oscilaciones piezométricas > 80 m, volumen de agua gestionada similar a recarga del acuífero
- Simulación de surgencia en fondo de corta
- > 100 sondeos de extracción para regadío
- Modelo geológico del yacimiento mineral complejo

Se puede considerar como un caso de éxito que ha sido posible gracias a la dedicación de grandes esfuerzos en labores de seguimiento, actualizaciones periódicas y revisión de la calidad y cantidad de los datos empleados.

Se pone de manifiesto la importancia de los trabajos necesarios de actualización constante de información de forma directa o indirecta (seguimiento piezométrico en continuo, así como de cultivos y zonas de riego, y en definitiva la importancia de la adquisición y actualización continua de los datos que alimenta el modelo.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



PAAS

Plan de acción
de aguas subterráneas

JORNADA TÉCNICA SOBRE IMPLANTACIÓN DEL
PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



ayterra

estudios y proyectos SL
AGUA Y TERRITORIO

12

MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO NIEBLA-POSADAS PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

CONTACTO:

- www.ayterra.com
- info@ayterra.com
- José Manuel Sánchez Biec
pepesanchezbiec@ayterra.com
- Juan Capelo Medina
juancapelo@ayterra.com

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

