SD-MICINN. "Ciencia e innovación para la sostenibilidad". Organizada por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

¿QUÉ APORTA LA INVESTIGACIÓN AL USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS DEL SUBSUELO?

Juan Antonio López Geta
Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Qué aporta la investigación al uso sostenible de los recursos del subsuelo?

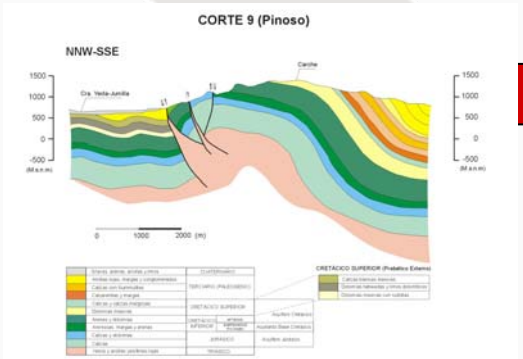
Juan Antonio López Geta

Dr. Ingeniero de Minas

Área de Investigación en Recursos Geológico

CONAMA 9

R. SUBSUELO



CONOCIMIENTO

INVESTIGAR

USO SOSTENIBLE

USO SOSTENIBLE:

desarrollo económico que, cubriendo las necesidades del presente, preserva la posibilidad de que las generaciones futuras satisfagan las suyas (**Avance DRAE 23 ed).**

SOCIAL

Económico

Lúdico

Cultural

Concepto de desarrollo sostenible: aprovechamiento que permita favorecer hoy el desarrollo de actividades productivas y el aumento del bienestar humano a través de su consumo pero sin poner en riesgo el desarrollo y bienestar futuro debido a un consumo desmedido o la degradación del recurso así como de los ecosistemas y otros recursos naturales (Acuerdo Andaluz por el Agua).

Estructuras subterráneas geológicas

RECURSOS NATURALES DEL SUBSUELO

- RENOVABLES: Aguas subterránea
  Geotérmicos
- NO RENOVABLES: Minería

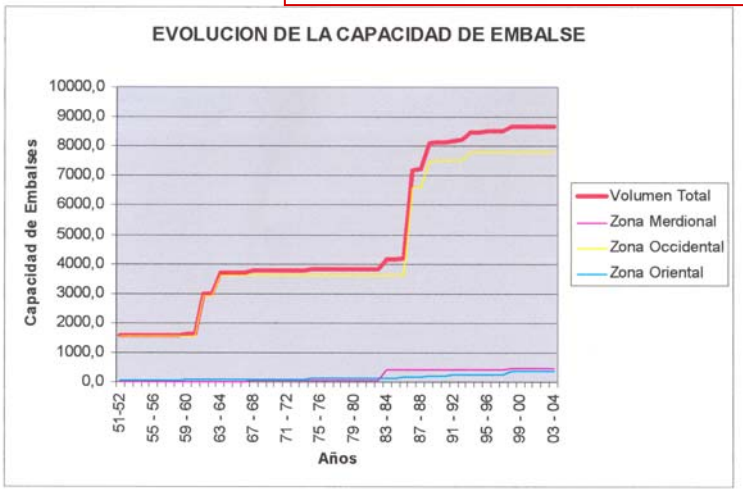
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

- CO^2
- AGUA

LÚDICOS

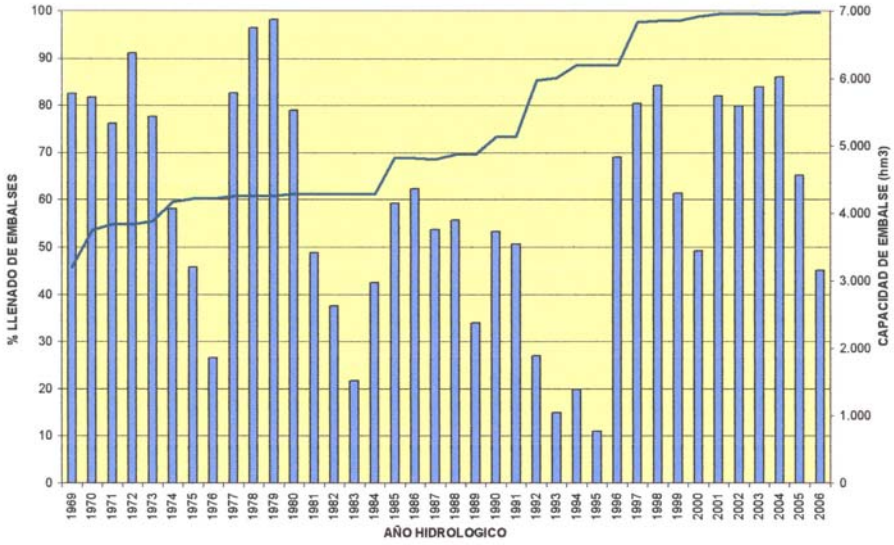
CULTURALES

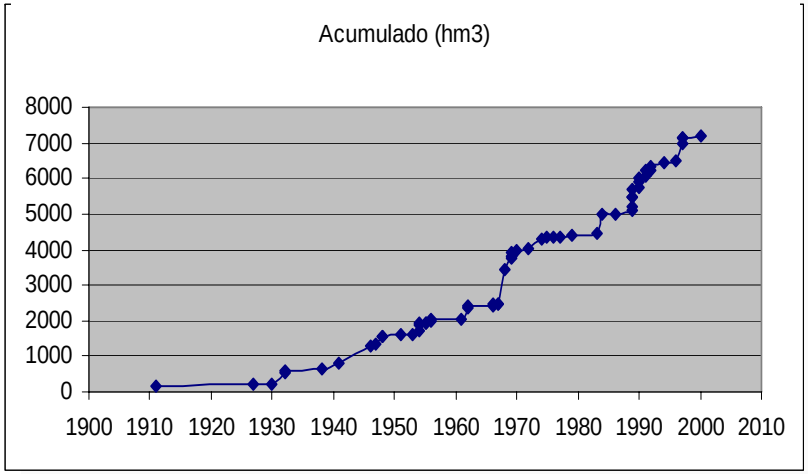
PROBLEMAS-USO NO SOSTENIBLE

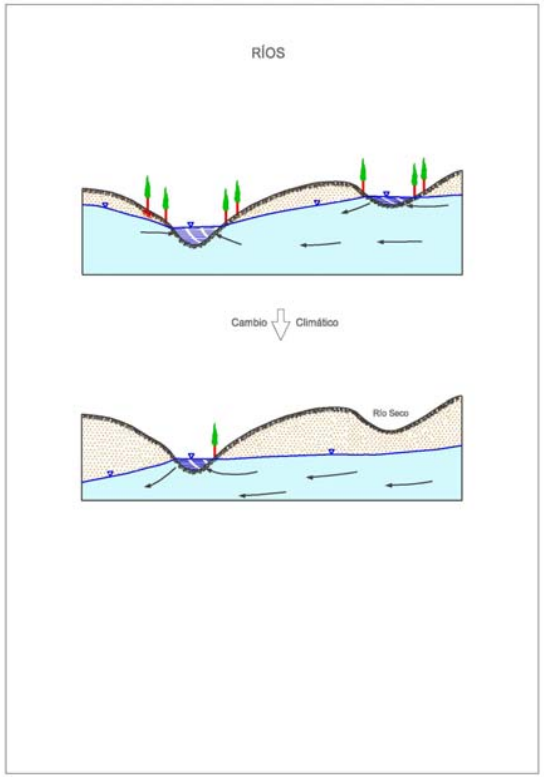


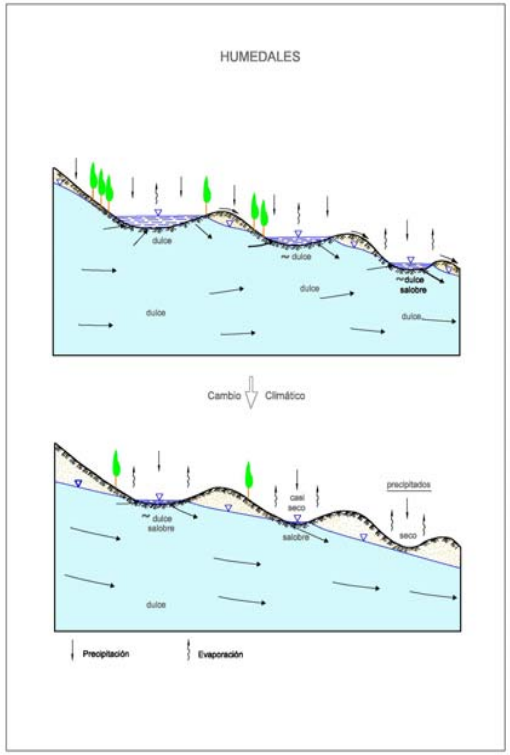
Capacidad de embalse en la cuenca del Guadiana.

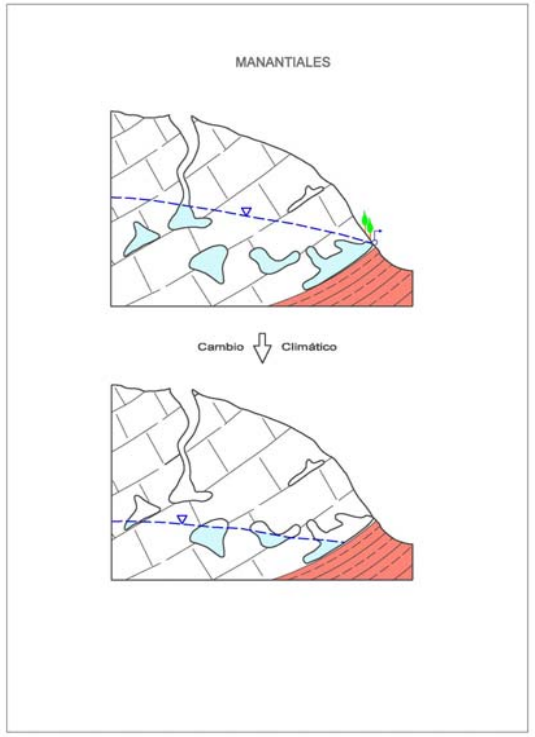
Porcentaje de V.embalsado frente a su capacidad total existente en esa fecha.

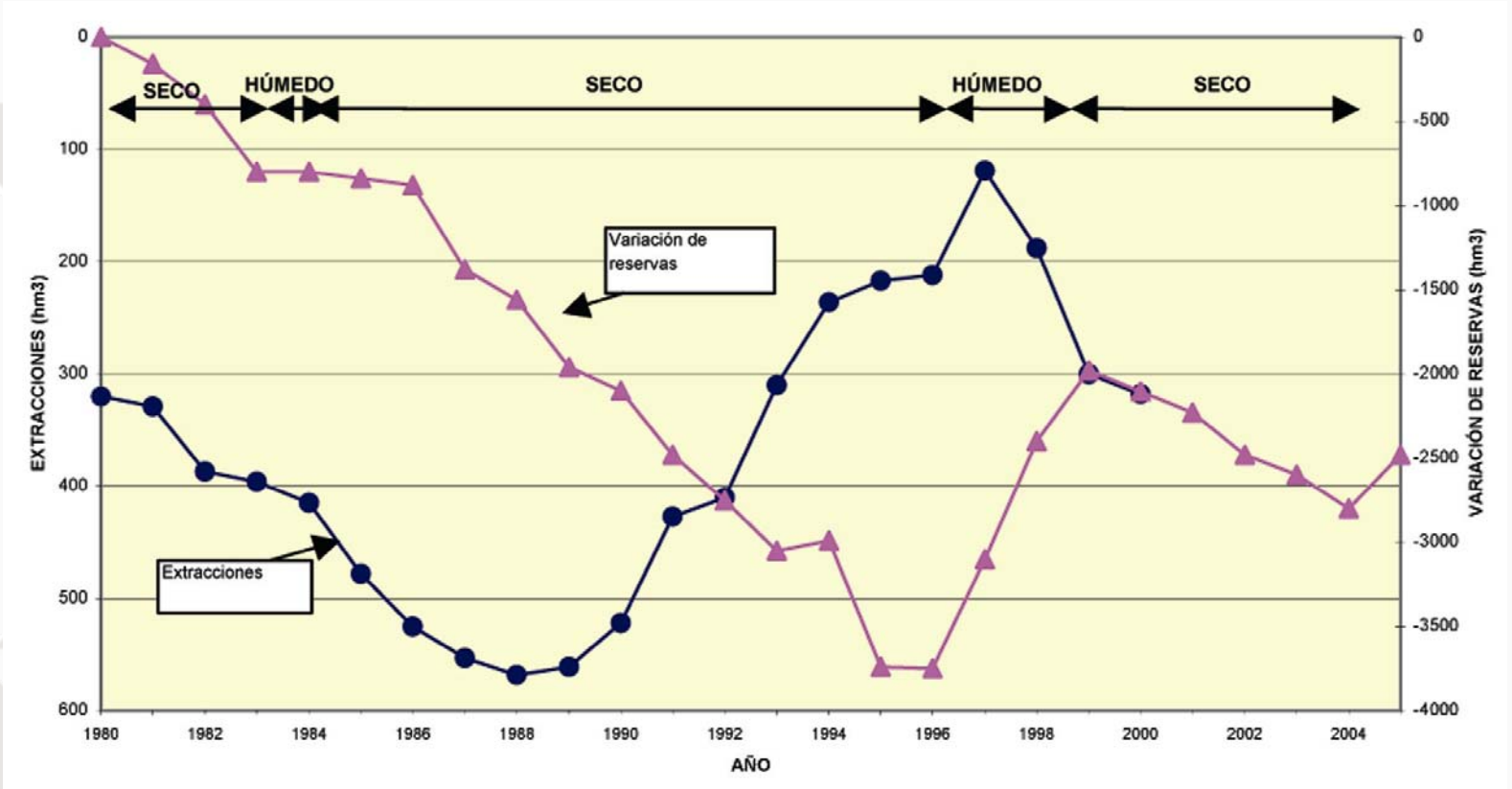





RÍOS
Cambio Climático
Río Seco

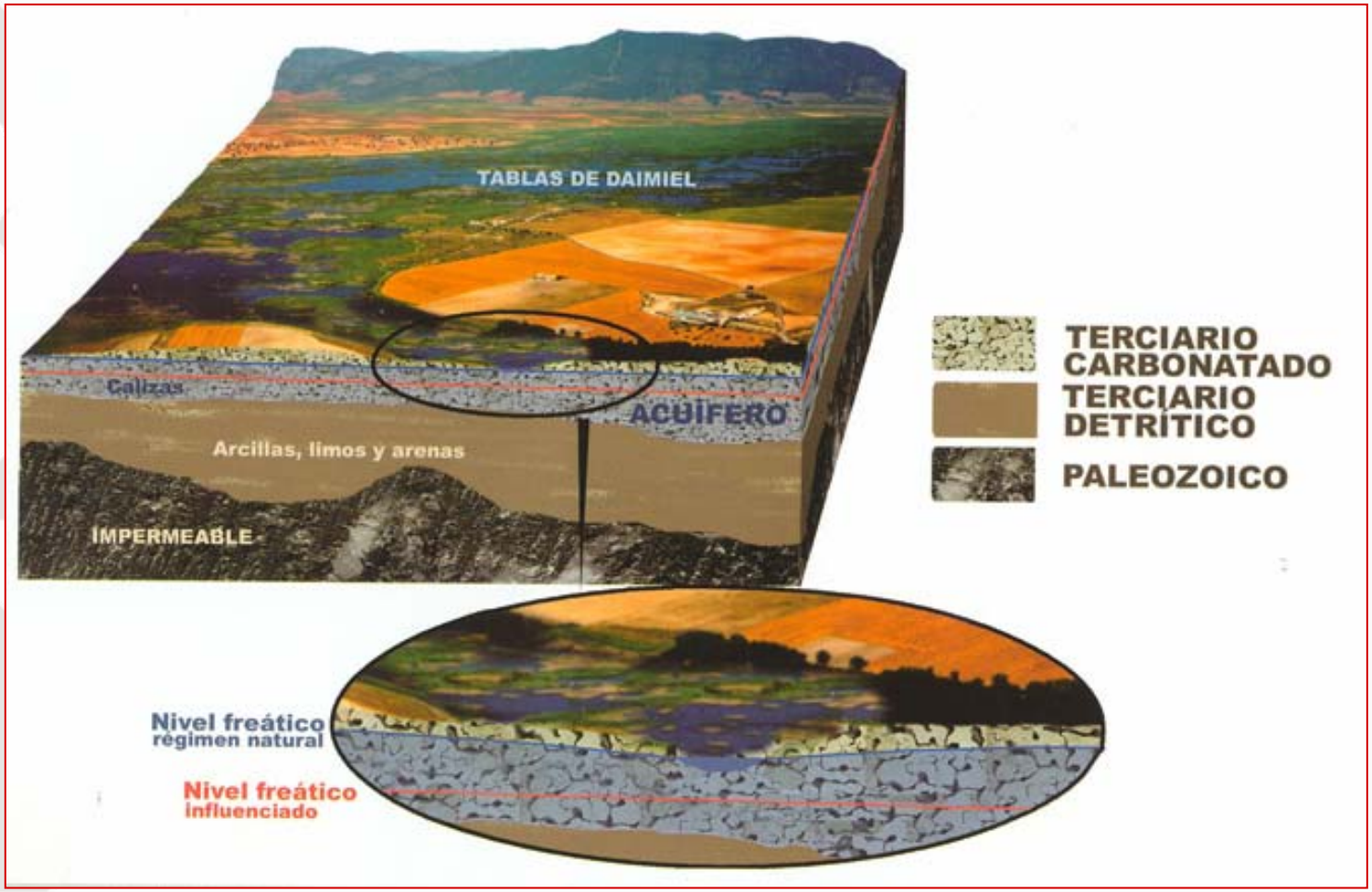

HUMEDALES
dulce
dulce
dulce
salobre
dulce
dulce
Cambio Climático
precipitados
casi seco
dulce salobre
salobre
seco
dulce
Precipitación
Evaporación


MANANTIALES
Cambio Climático

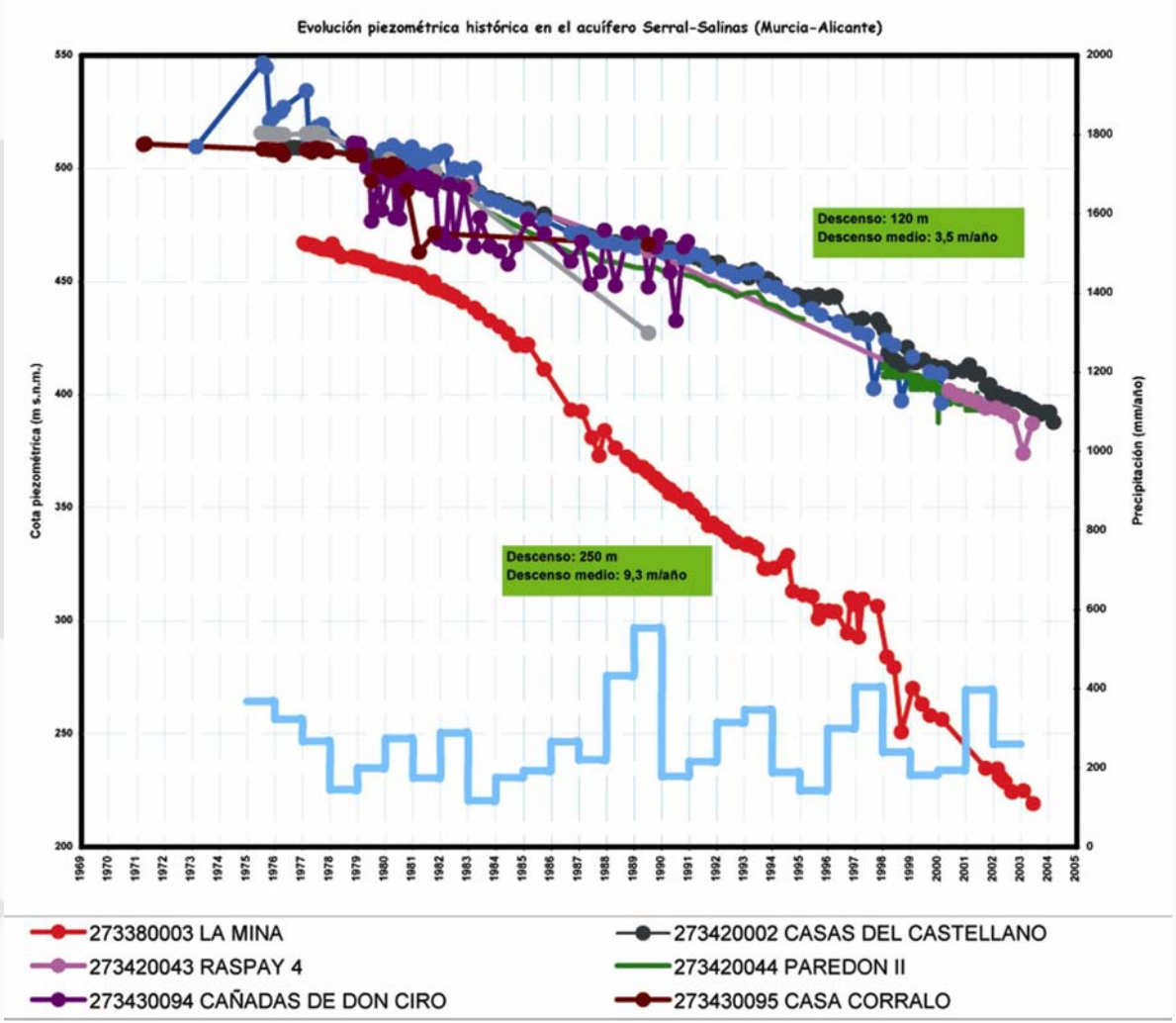


Variación de las reservas y de las extracciones, en el acuífero 23. Mancha Occidental.

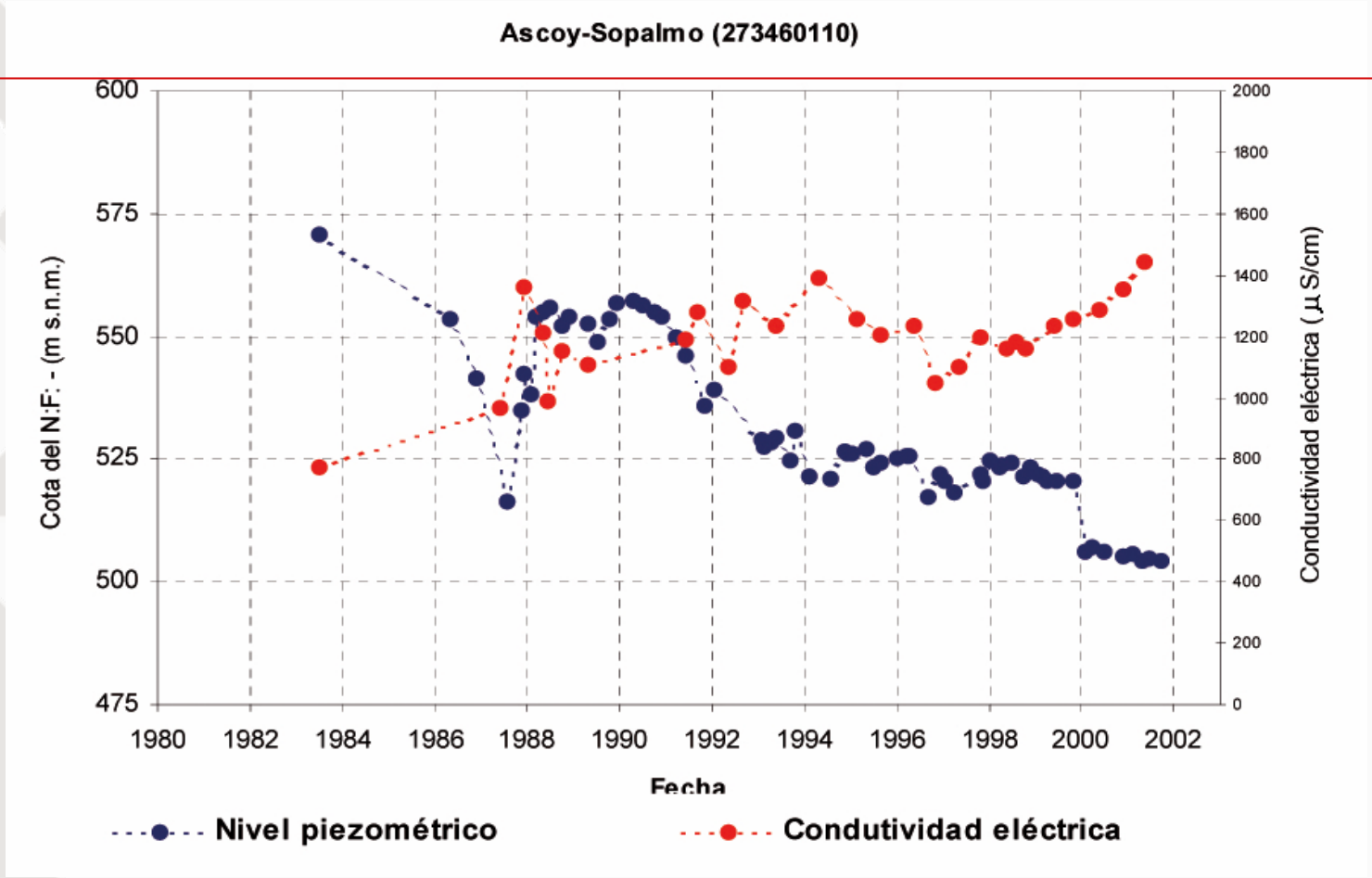
ZONAS HÚMEDAS



SOBREEXPLOTACIÓN

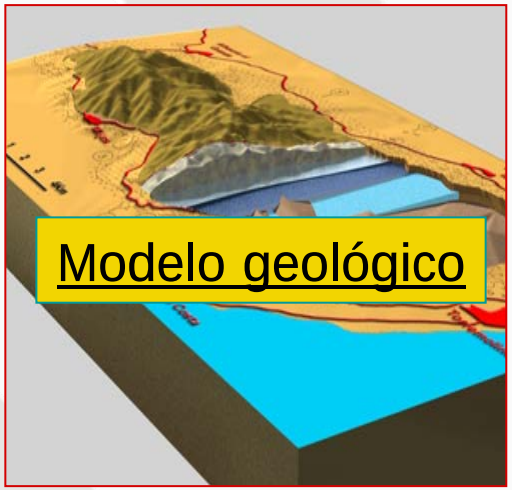


DESCENSO DEL NIVEL PIEZOMETRICO Y DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD NATURAL DEL AGUA Y CON ELLO UNA DISMINUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES



INVESTIGACIÓN CIENTIFICO-TÉCNICA

PROCESO



→ Evaluación de los recursos

→ Aprovechamiento

→ Planificación-Gestión

Las aguas subterráneas: un recurso del subsuelo

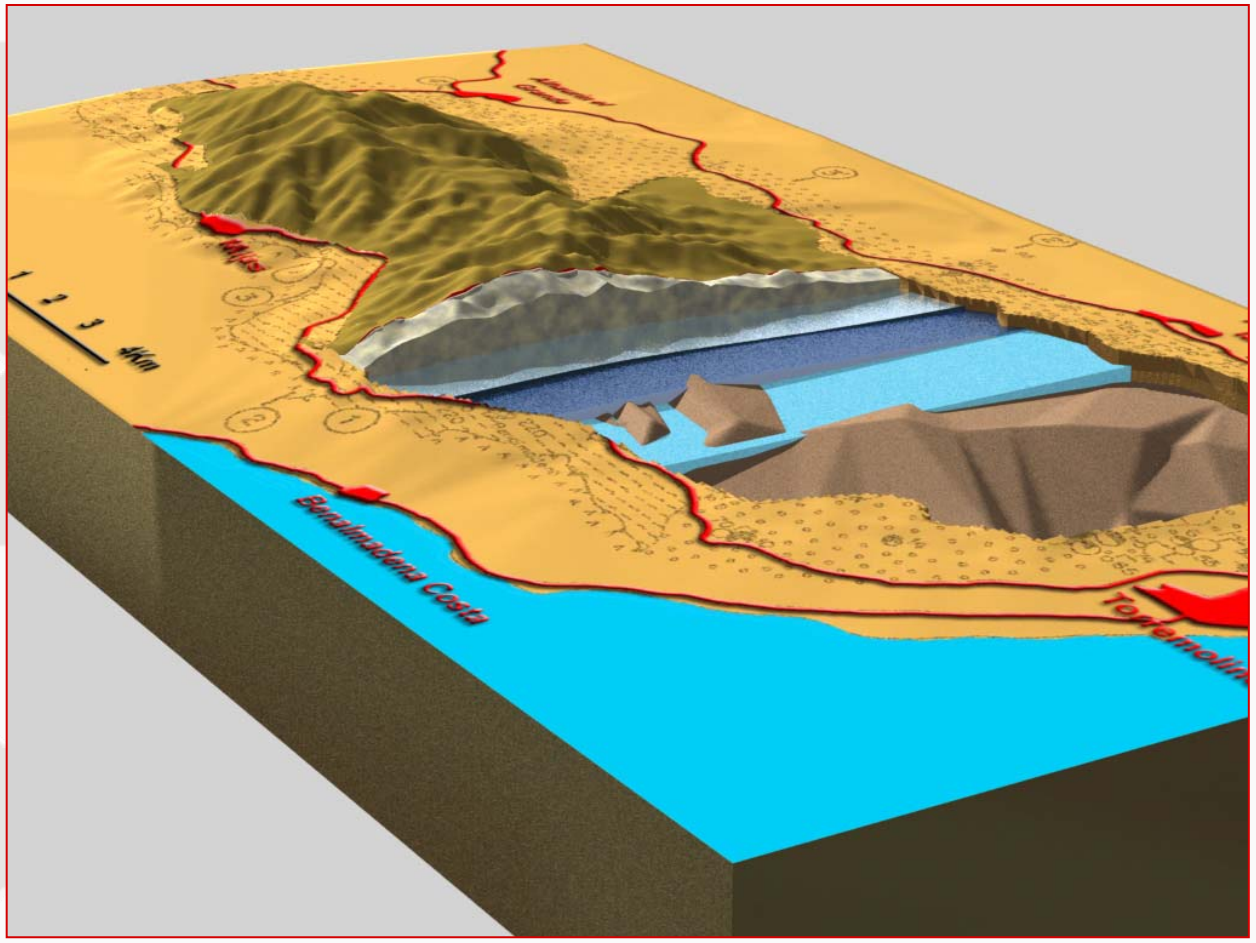
- Como fuente de suministro de agua: uso tradicional.
- Como medio de gestión: propuesta de futuro.

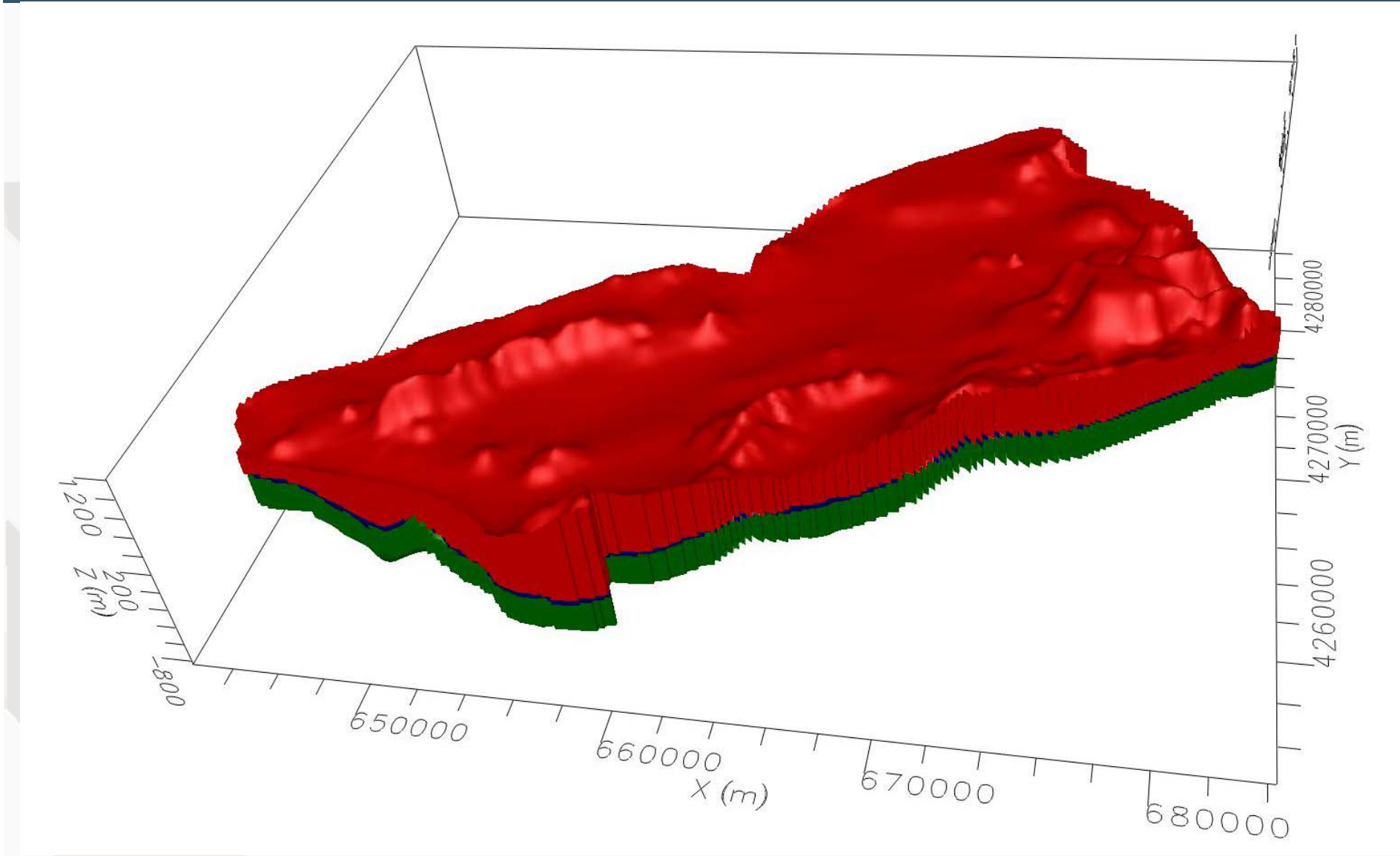
PROPUESTA: mayor oferta de recursos; esto requiere incremento de la capacidad de regulación, tanto mediante: PRESAS Y POZOS

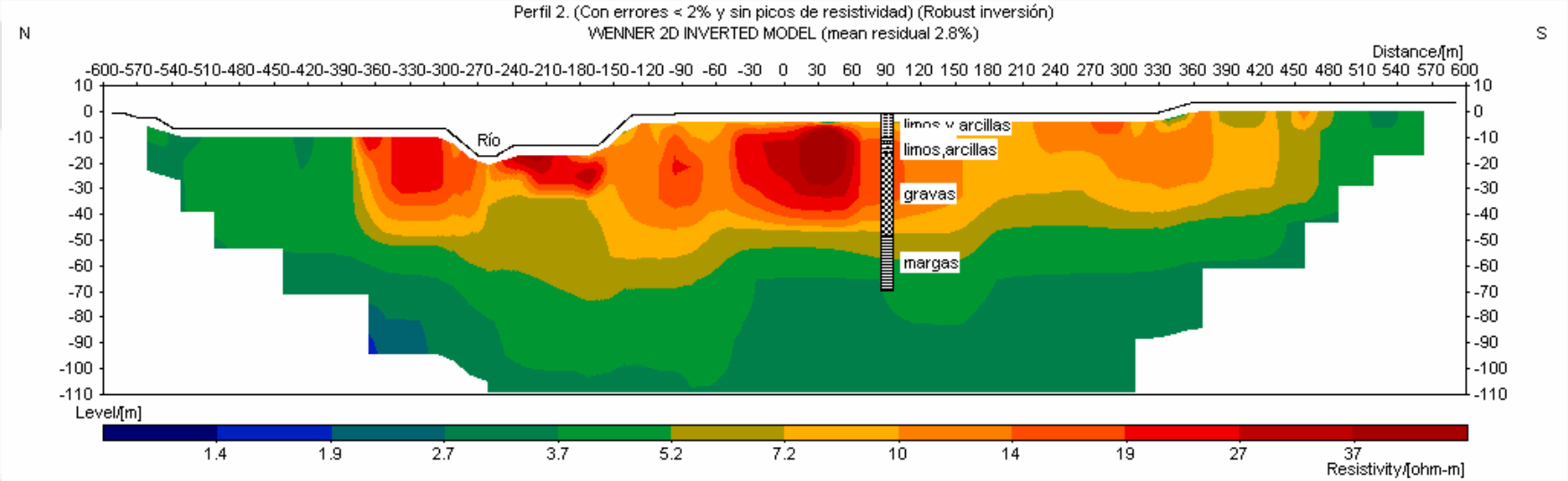
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOAS

- Modelo conceptual
- Modelo Matemático
- Recarga
- Recursos hídricos
- Criterios de explotación
- Planificación-Gestión

Modelización tridimensional de acuíferos




200
0
-200
-400
Z (m)
650000
660000
670000
680000
X (m)
4280000
4270000
4260000
Y (m)


Perfil 2. (Con errores < 2% y sin picos de resistividad) (Robust inversión)
WENNER 2D INVERTED MODEL (mean residual 2.8%)
N
S
Distance/[m]
-600 -570 -540 -510 -480 -450 -420 -390 -360 -330 -300 -270 -240 -210 -180 -150 -120 -90 -60 -30 0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390 420 450 480 510 540 570 600
10 0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 -110
Level/[m]
Río
limos y arcillas
limos,arcillas
gravas
margas
1.4 1.9 2.7 3.7 5.2 7.2 10 14 19 27 37
Resistivity/[ohm-m]

ENVIRO-MT + SEV PERFIL1

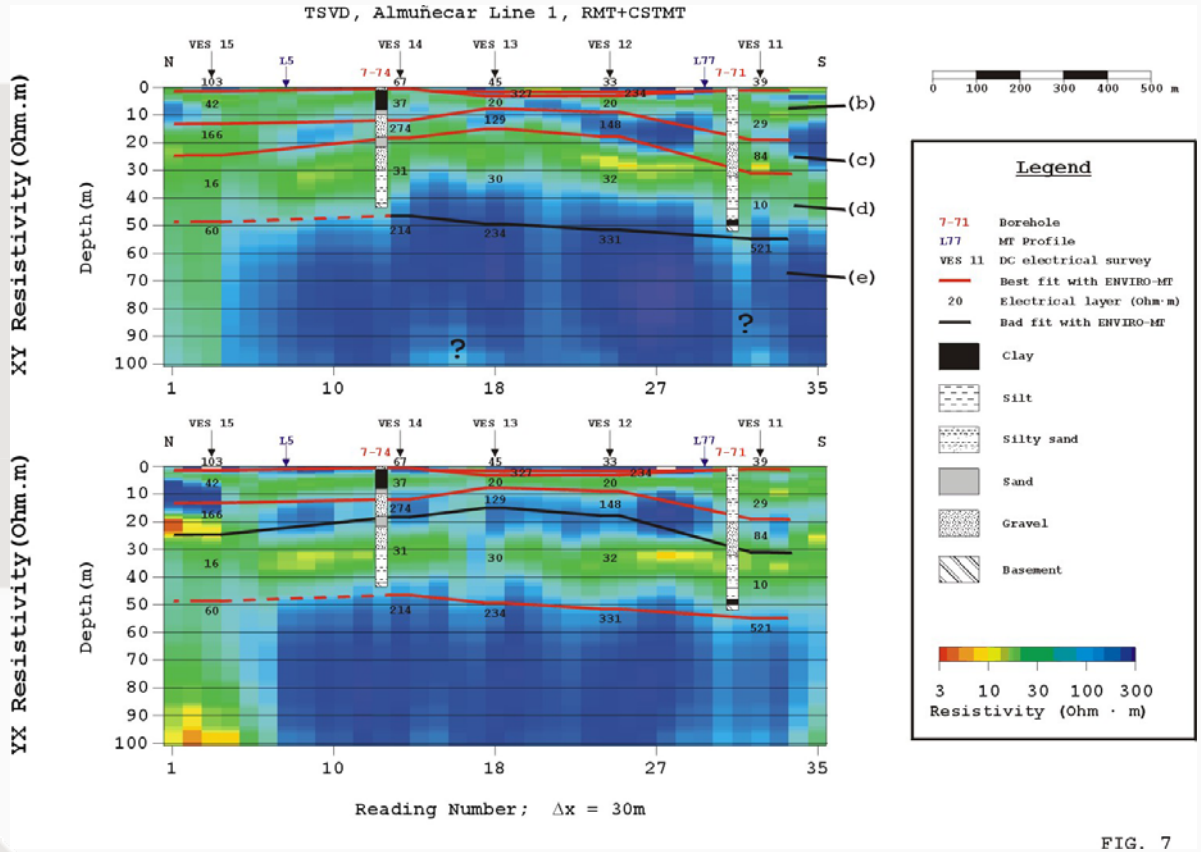
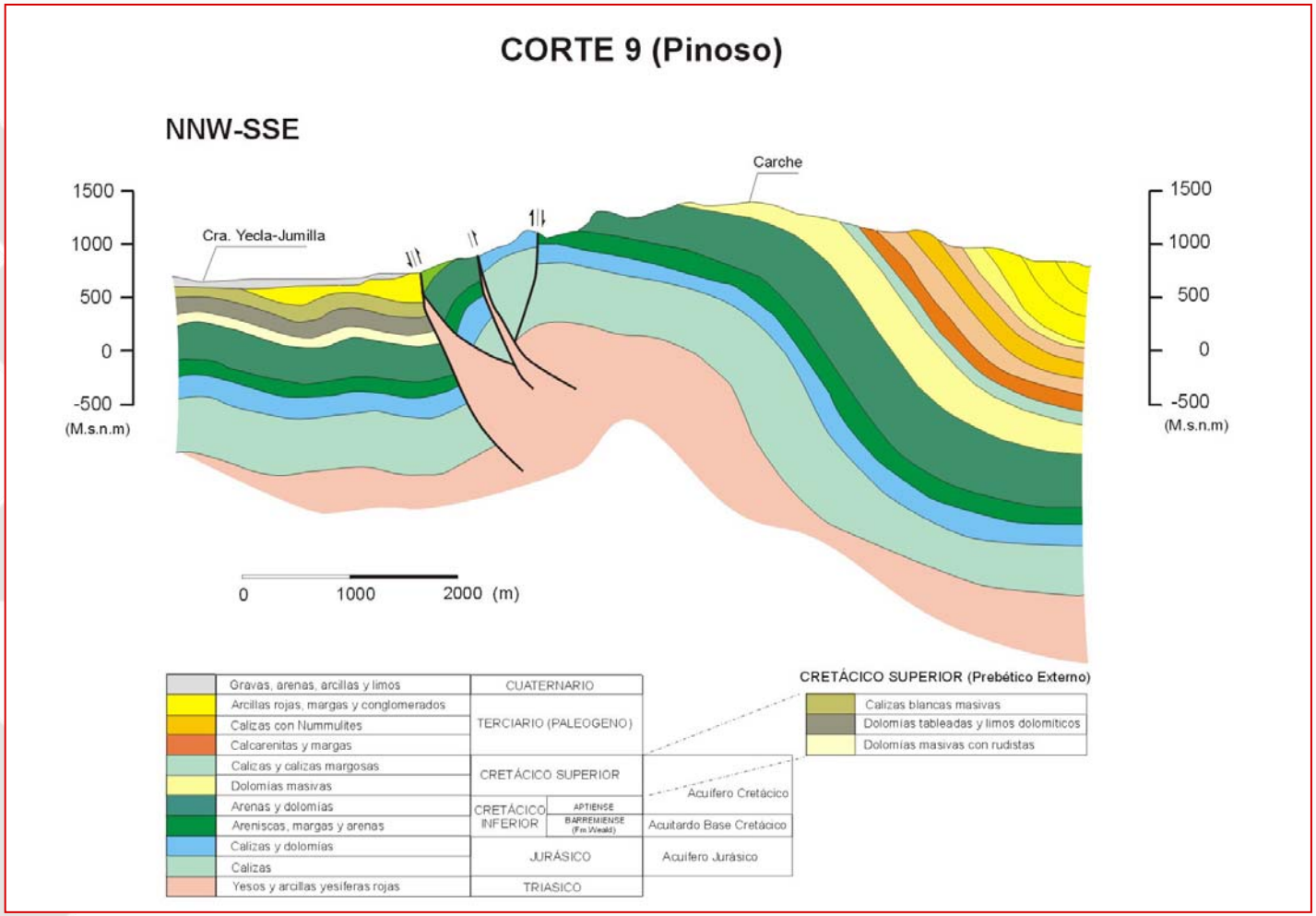
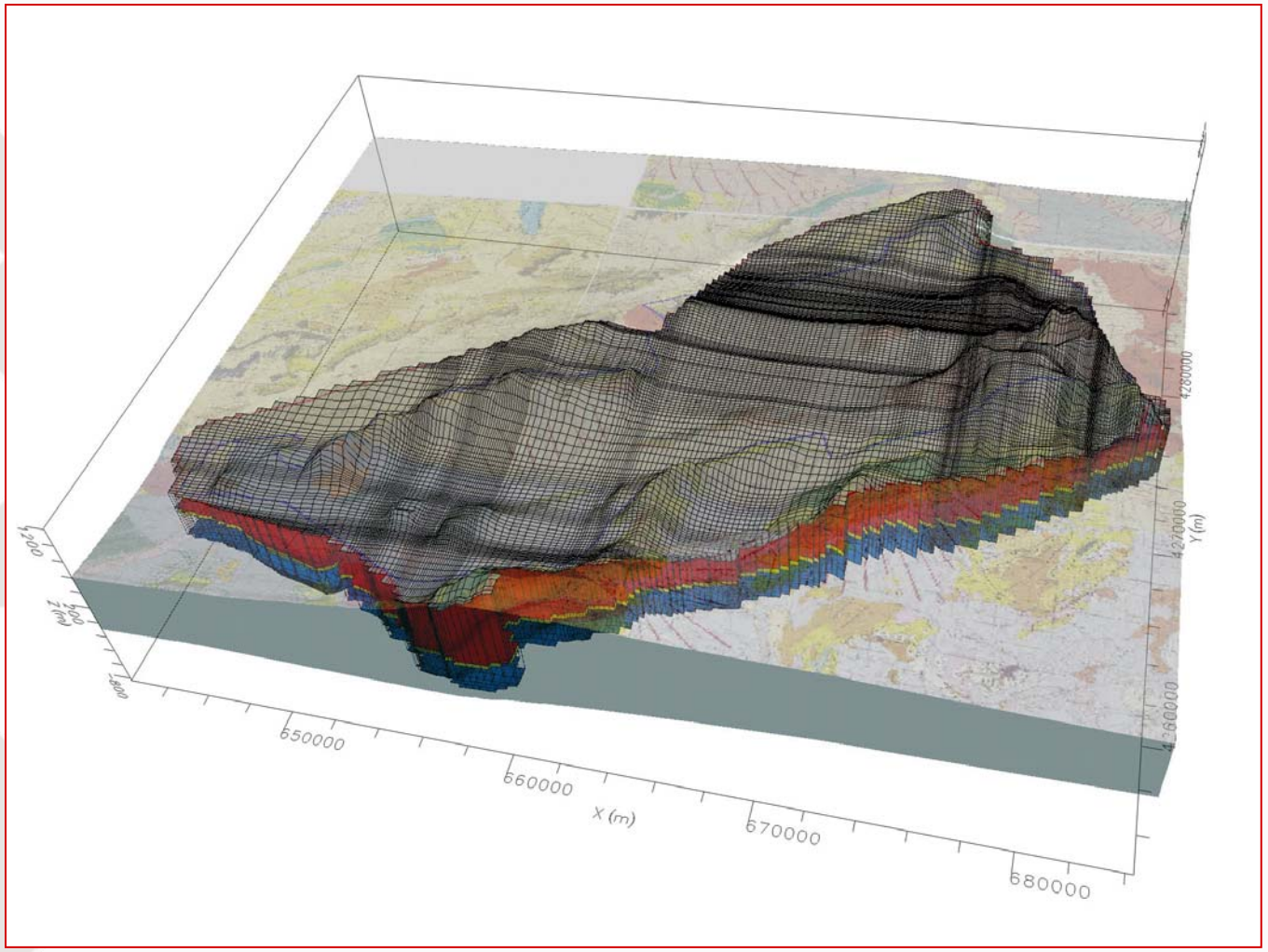


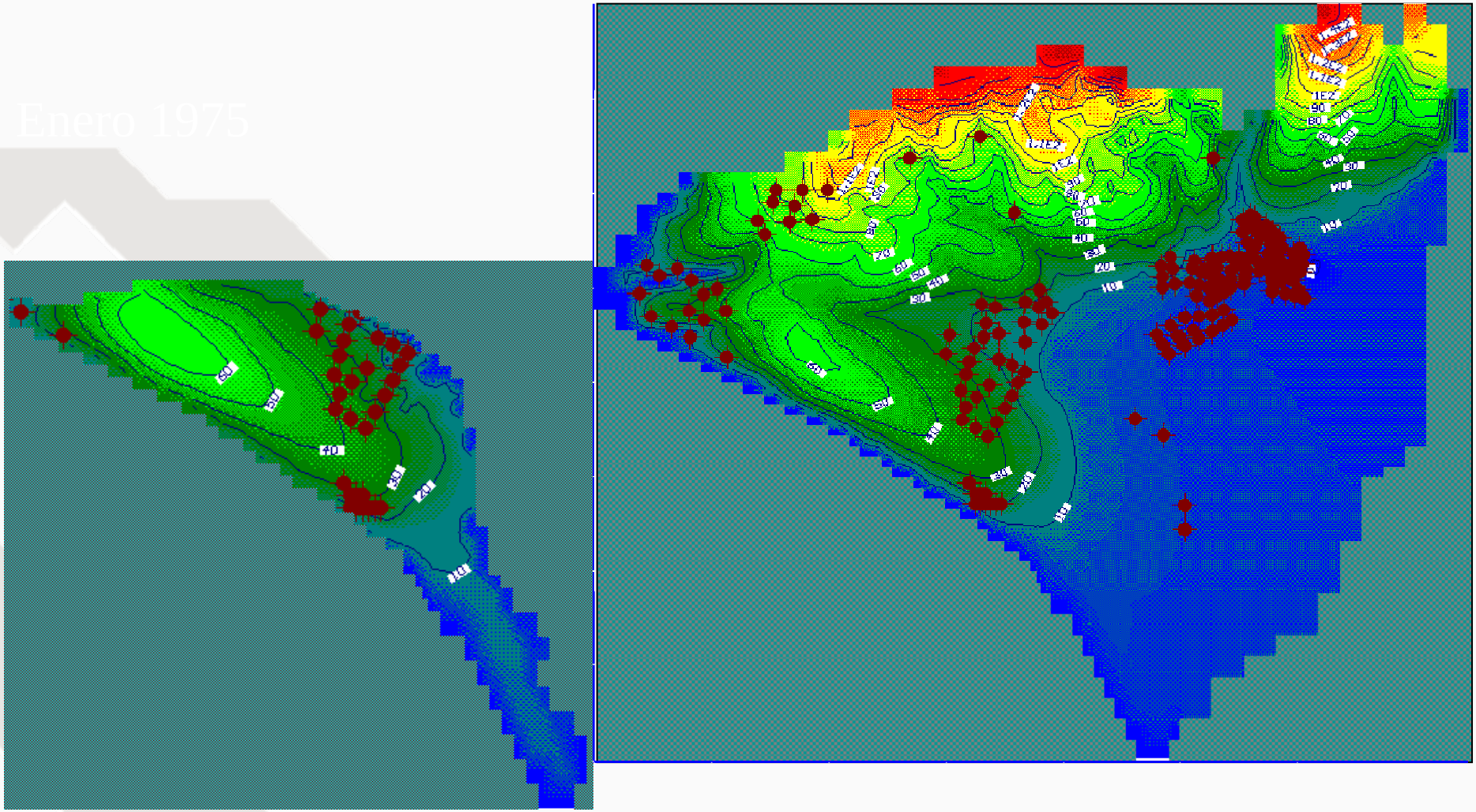
FIG. 7

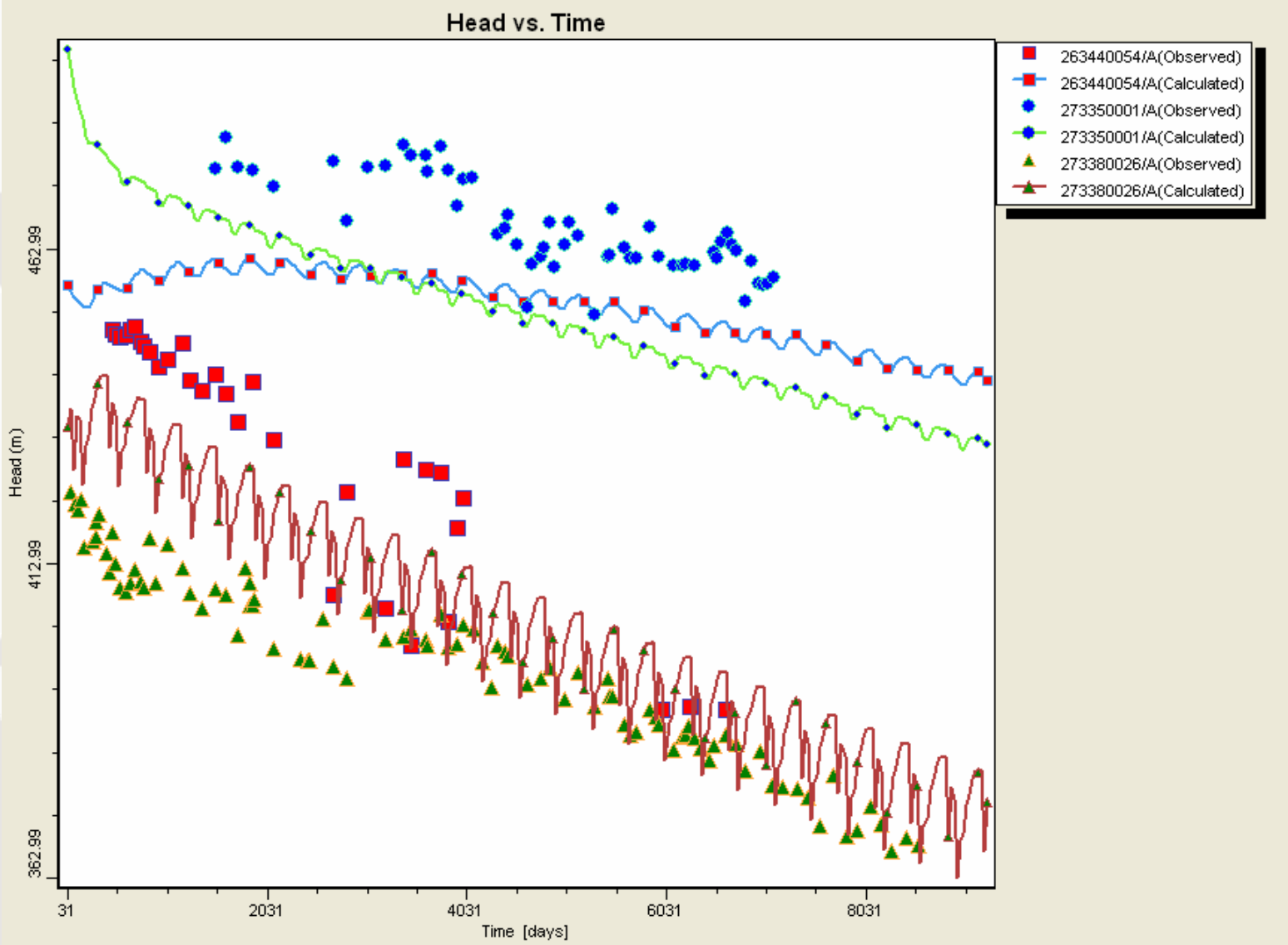

CORTE 9 (Pinoso)
NNW-SSE
Carche
Cra. Yecla-Jumilla
1500
1000
500
0
-500
(M.s.n.m)
0
1000
2000 (m)
Gravas, arenas, arcillas y limos
Arcillas rojas, margas y conglomerados
Calizas con Nummulites
Calcarenitas y margas
Calizas y calizas margosas
Dolomías masivas
Arenas y dolomías
Areniscas, margas y arenas
Calizas y dolomías
Calizas
Yesos y arcillas yesíferas rojas
CUATERNARIO
TERCIARIO (PALEOGENO)
CRETÁCICO SUPERIOR
CRETÁCICO INFERIOR
APTIENSE
BARREMIENSE (Fm Weald)
JURÁSICO
TRIASICO
CRETÁCICO SUPERIOR (Prebético Externo)
Calizas blancas masivas
Dolomías tableadas y limos dolomíticos
Dolomías masivas con rudistas
Acuífero Cretácico
Acuitardo Base Cretácico
Acuífero Jurásico

Modelo matemático

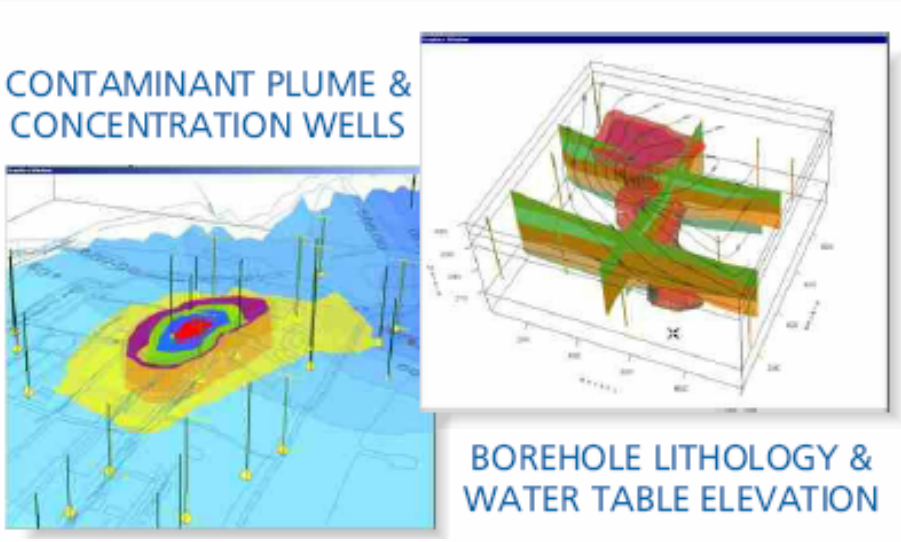


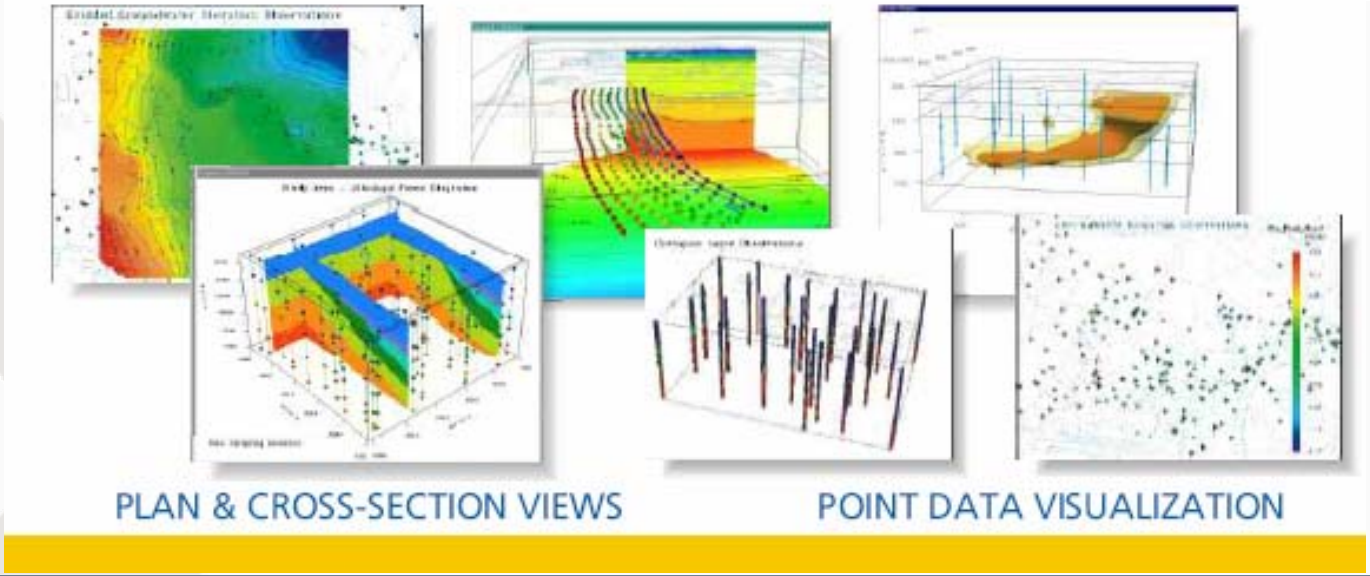
Enero 1975




Head vs. Time
263440054/A(Observed)
263440054/A(Calculated)
273350001/A(Observed)
273350001/A(Calculated)
273380026/A(Observed)
273380026/A(Calculated)
462.99
412.99
362.99
Head (m)
31
2031
4031
6031
8031
Time [days]

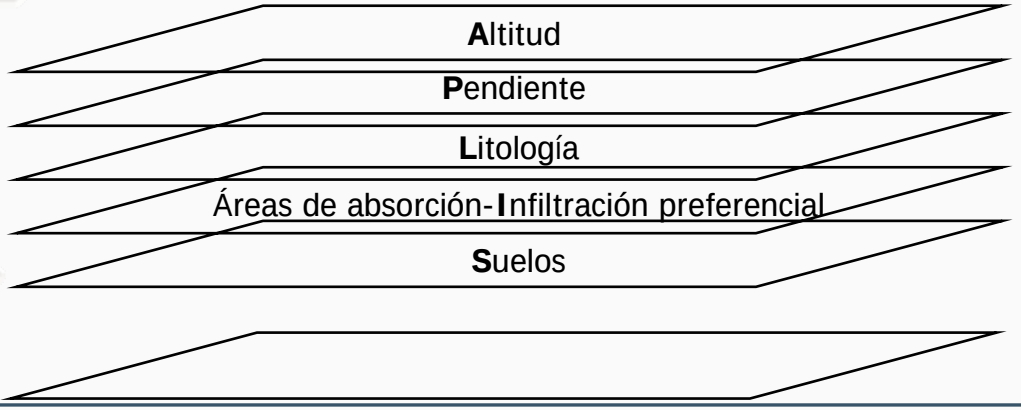
POSIBILIDADES GRÁFICAS PARA OBSERVAR MODELOS EN 3-D UTILIZANDO "VISUAL GROUNDWATER"





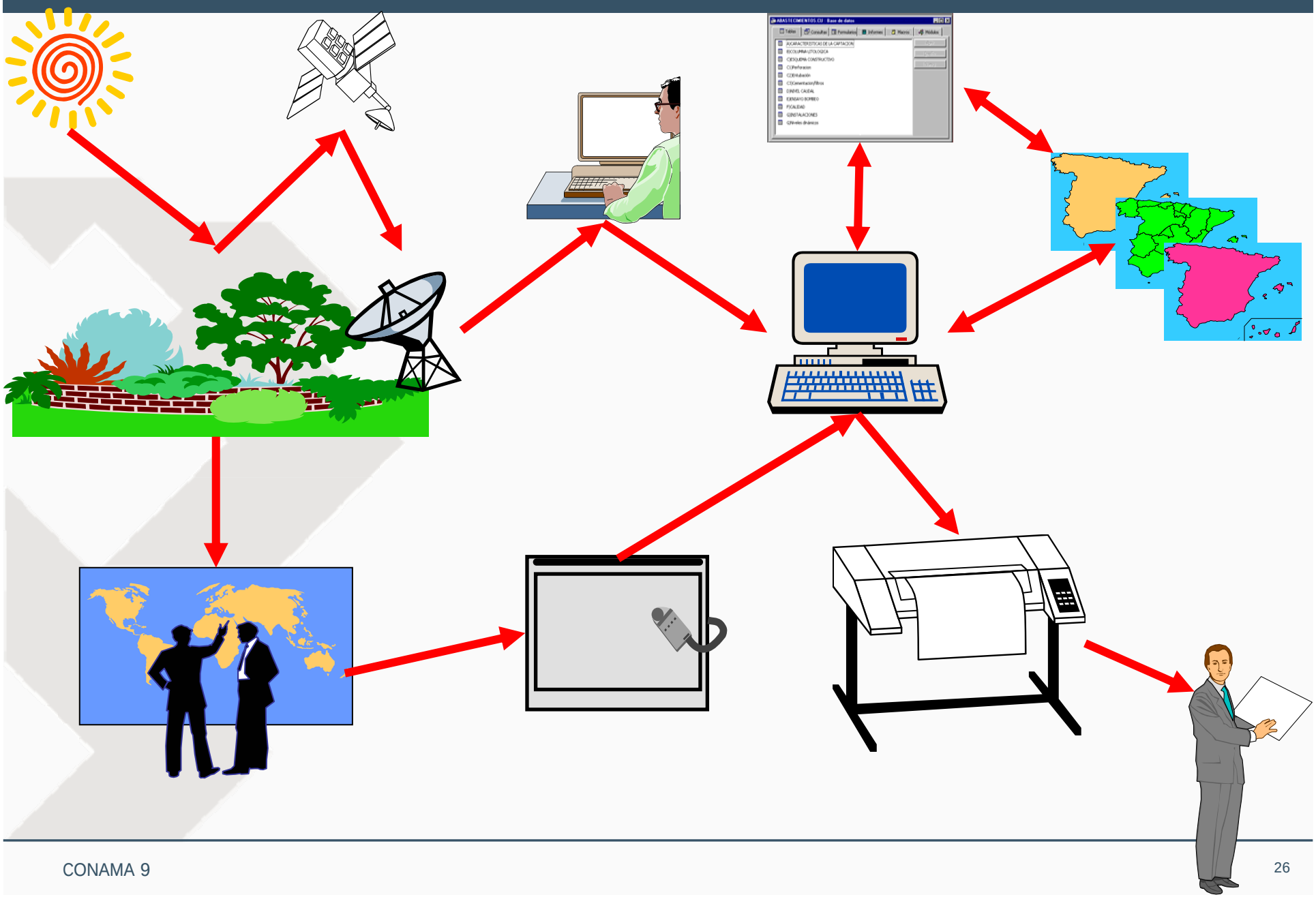
Estimación de la recarga: MÉTODO APLIS

→ Acuífero

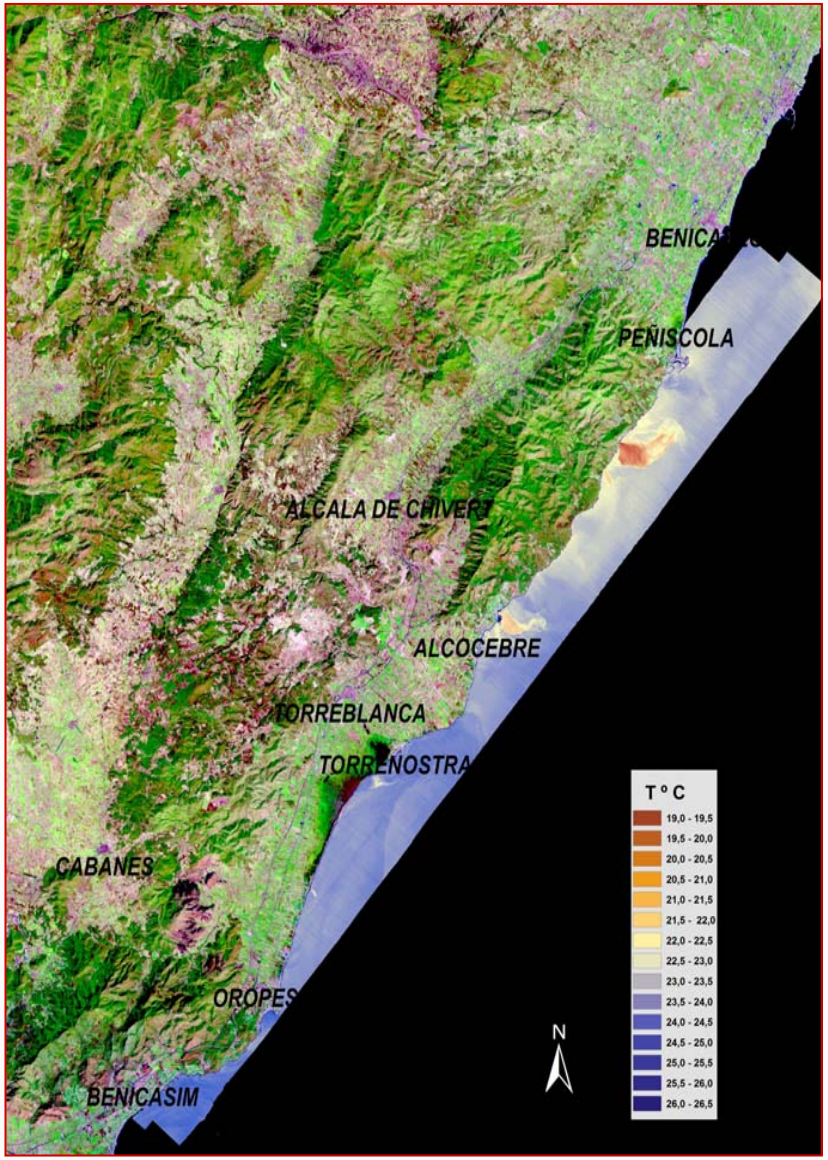


→ Capas de información

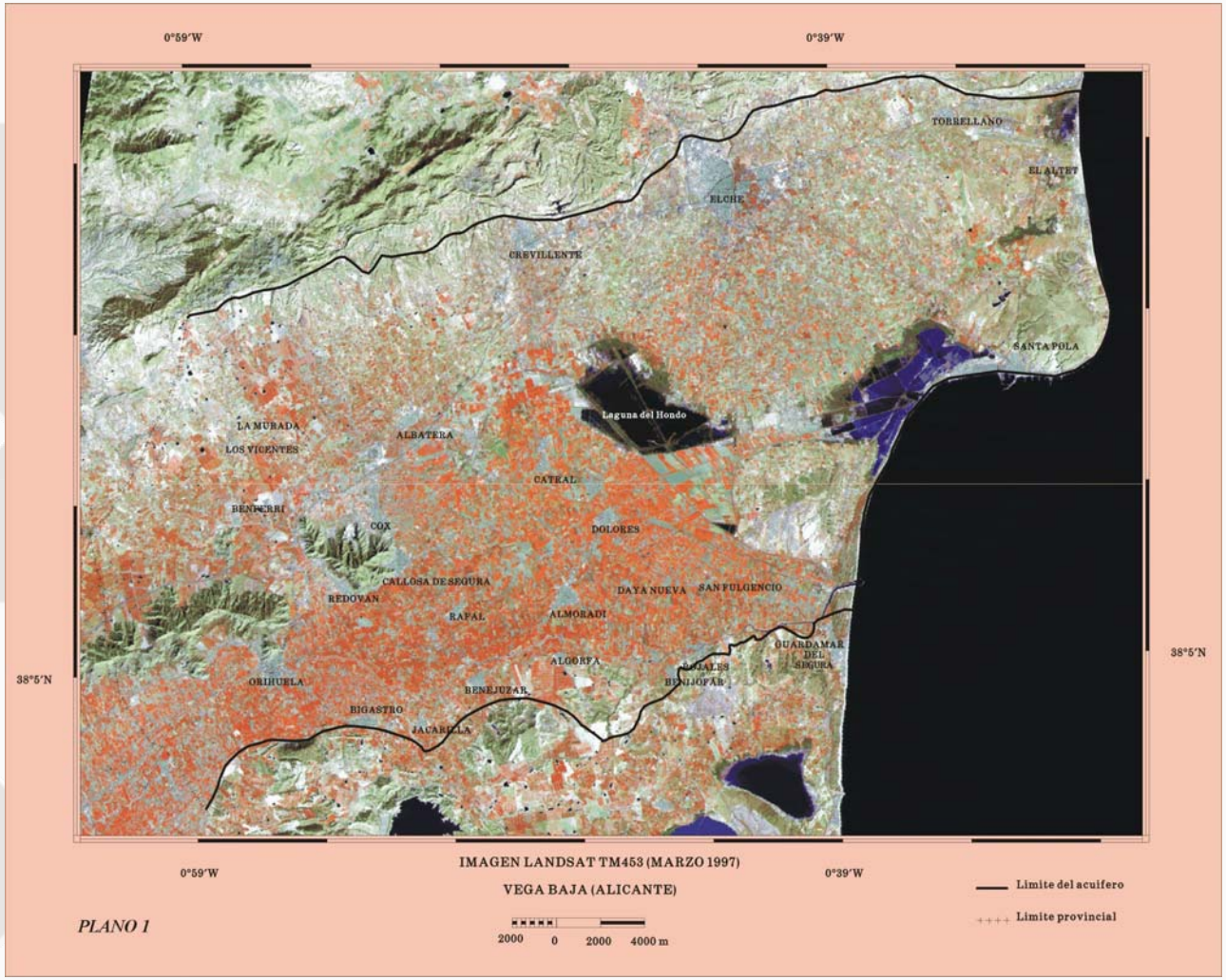
→ Mapa de recarga



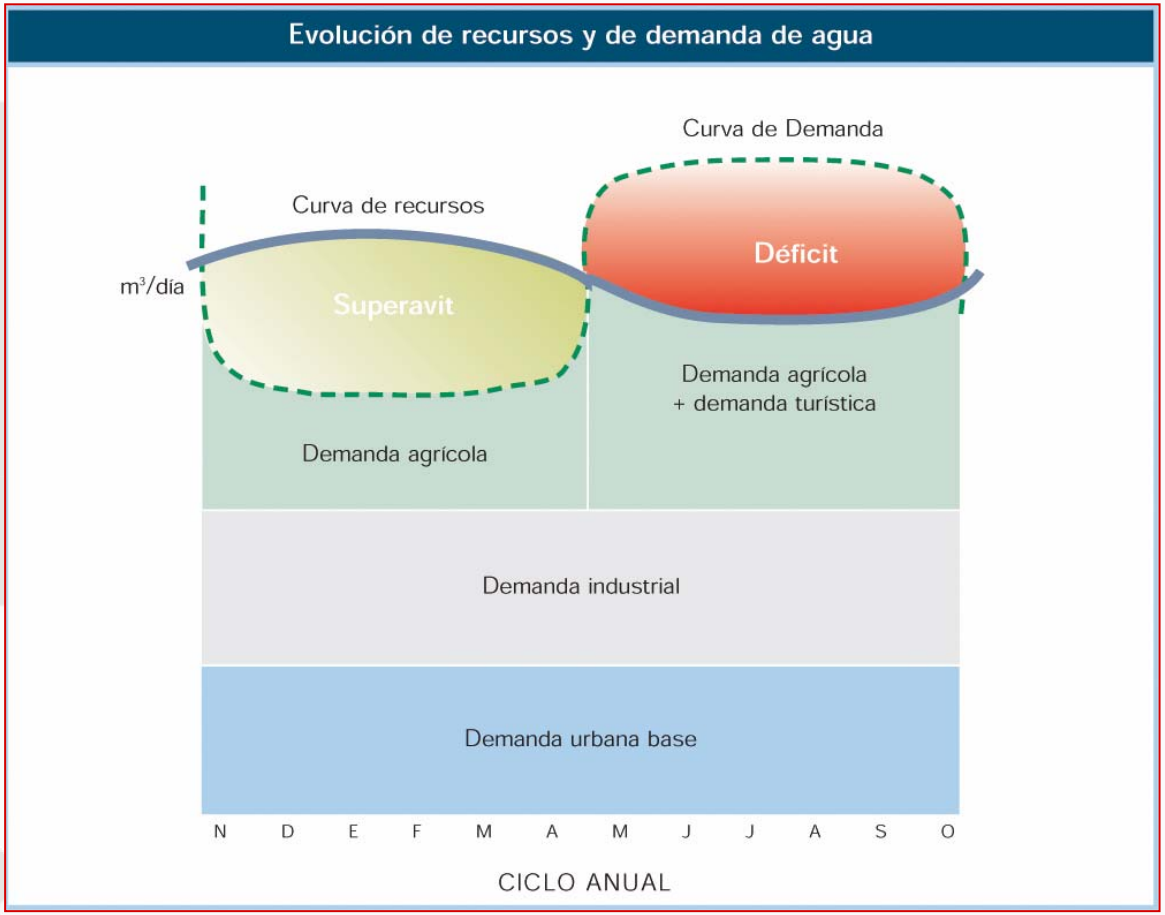
Calculo de salidas
Vuelo con sensor térmico
Define las zonas de salida de agua dulce en función de la temperatura



CALCULO INDIRECTO BOMBEOS PARA REGADIOS

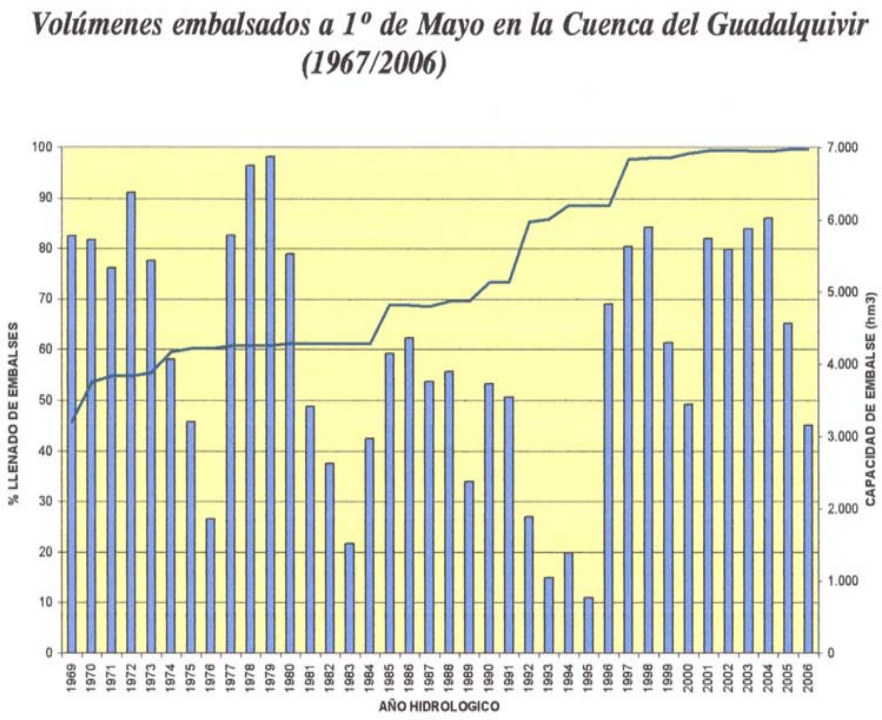


Planificación-Gestión Hídrica

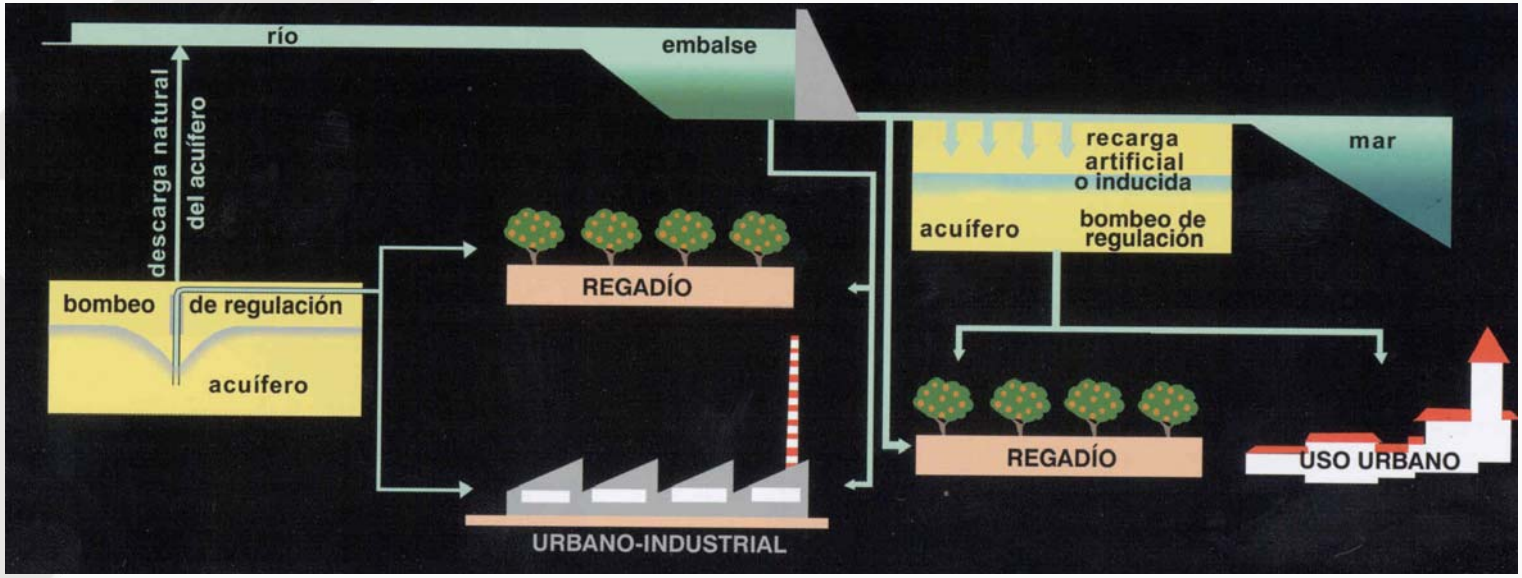


LA OFERTA: no es suficiente. Se crean una serie de problemas, como consecuencia :

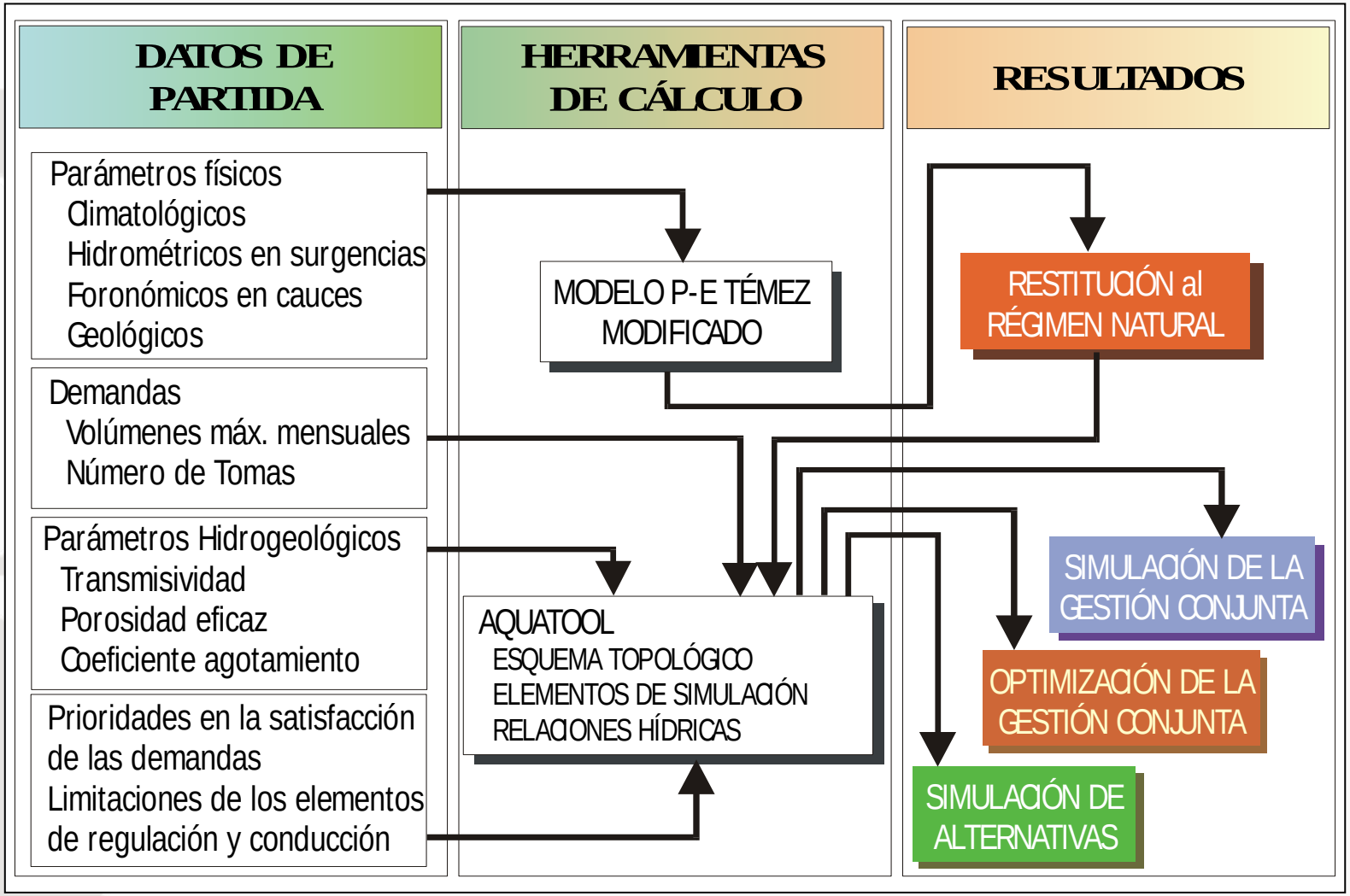
- del aumento del aprovechamiento del agua, mayoritario en la agricultura,
- de la falta de disponibilidad en ciertas zonas del país,
- de la escasez de garantía que ofrecen algunos de los sistemas de regulación,
- situaciones de sobreexplotación de ríos y acuíferos y deterioro de la calidad,
- fuerte impacto medioambiental.



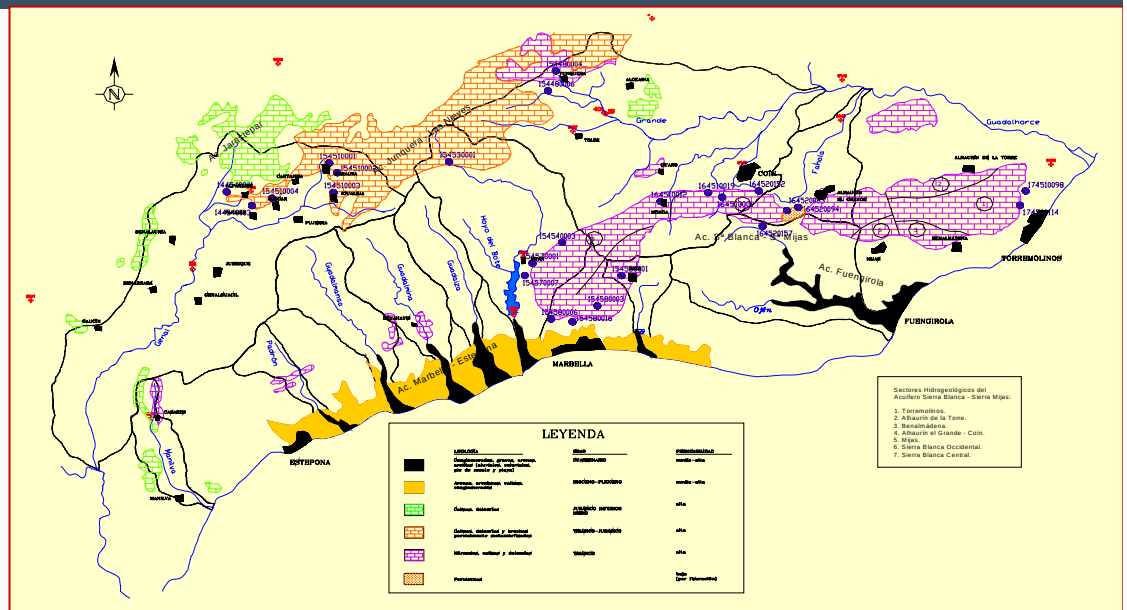
- **Novedad el acuífero como embalse de regulación, donde su capacidad de almacenamiento (*embalse natural*) puede jugar un papel importante en la modulación de las aportaciones hídricas.**
- **Permite completar la capacidad de regulación de los embalses, mejorar la gestión, reducir el posible impacto ambiental de las infraestructuras de regulación superficial.**
- **Gestión moderna del agua: integración en un único sistema de explotación, de todos los elementos que intervienen en él.**

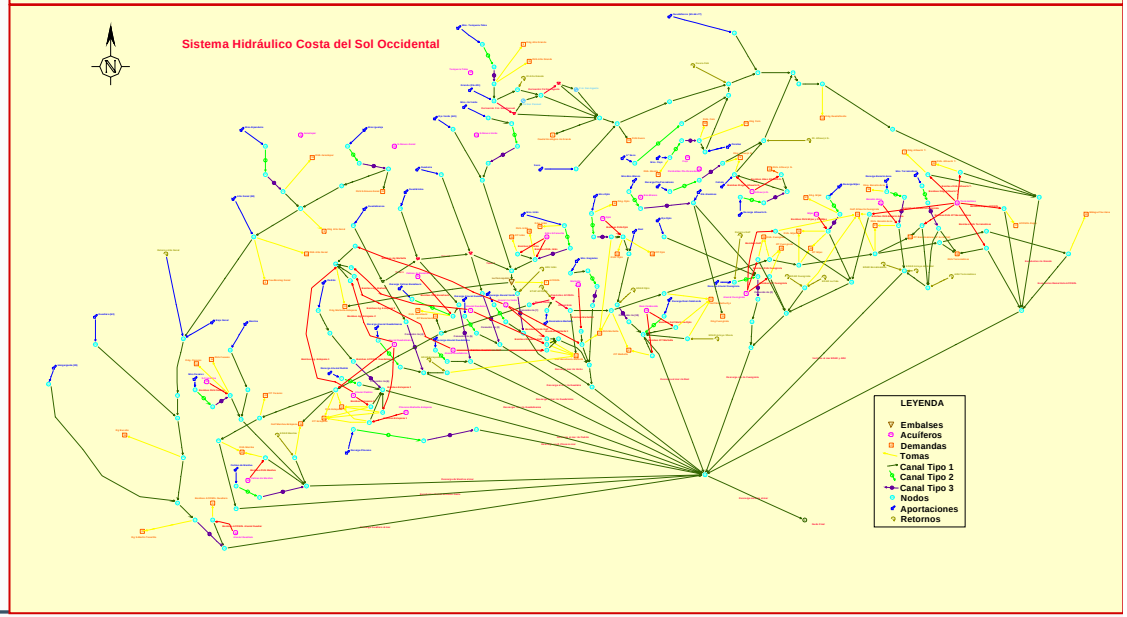


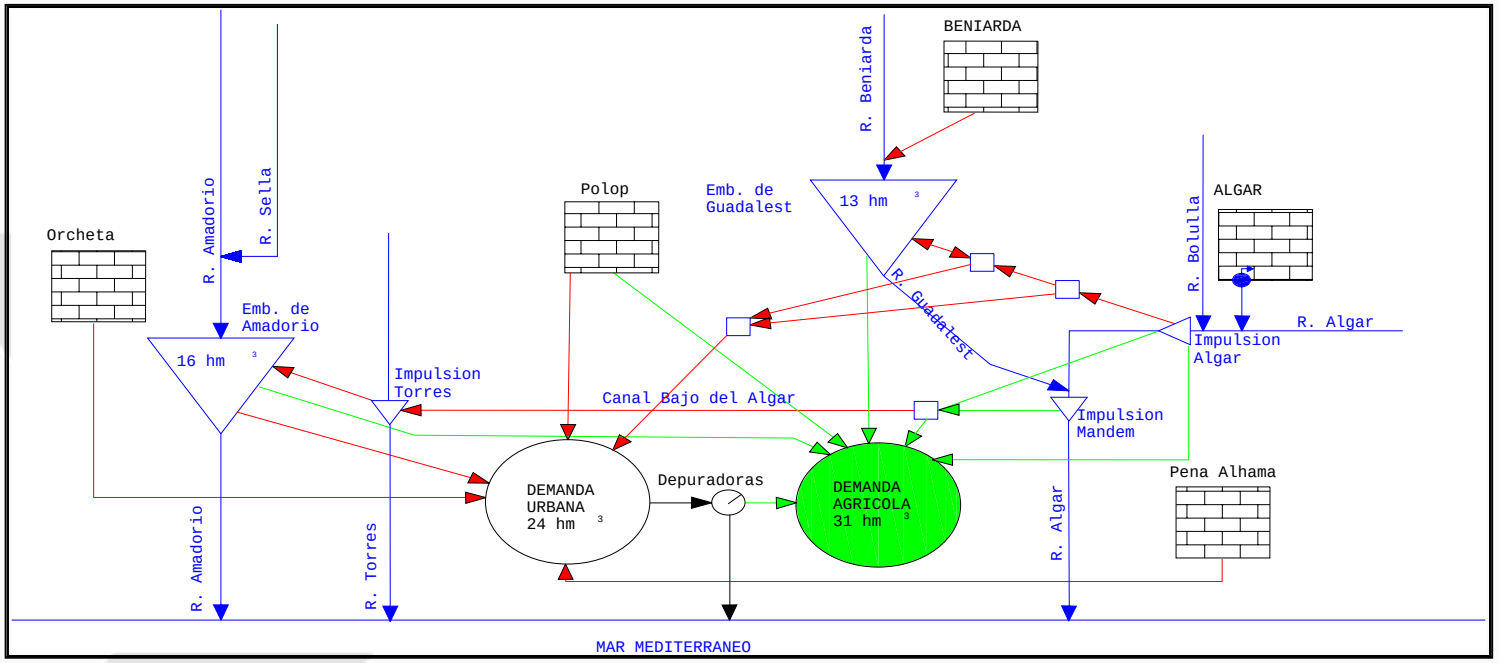
MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL SISTEMA COMPLETO

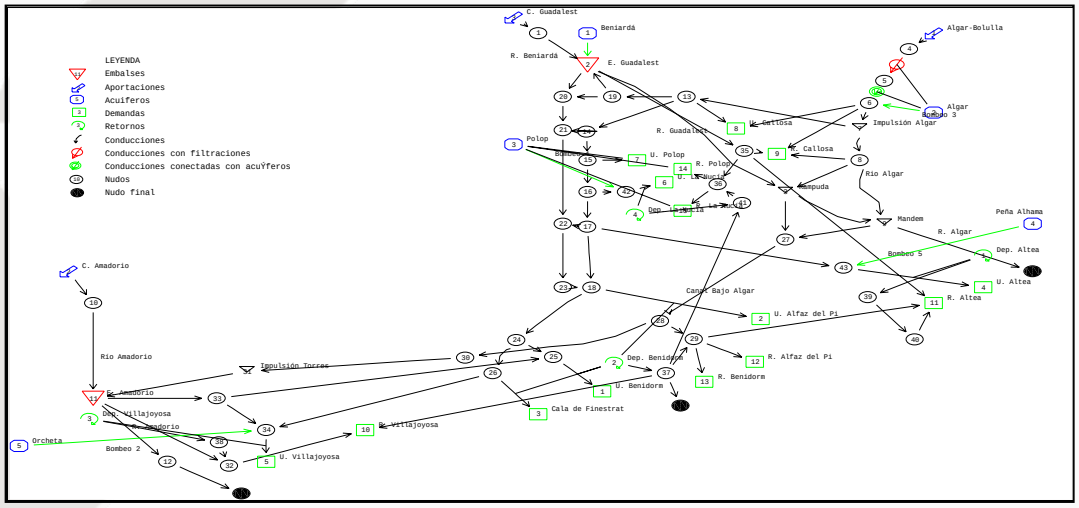


- Esquema conceptual
- Esquema topológico
- Permite: incorporar los acuíferos como un elemento más de los componentes de oferta y demanda del sistema de regulación (SR),.





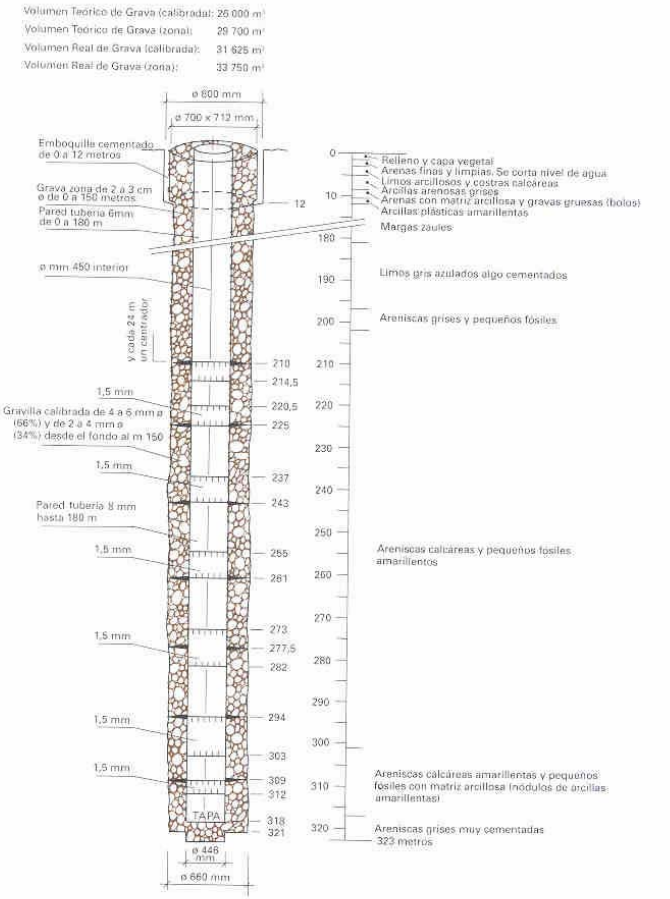




Esquema topológico simplificado del sistema de gestión de los recursos hídricos de la Marina Baja

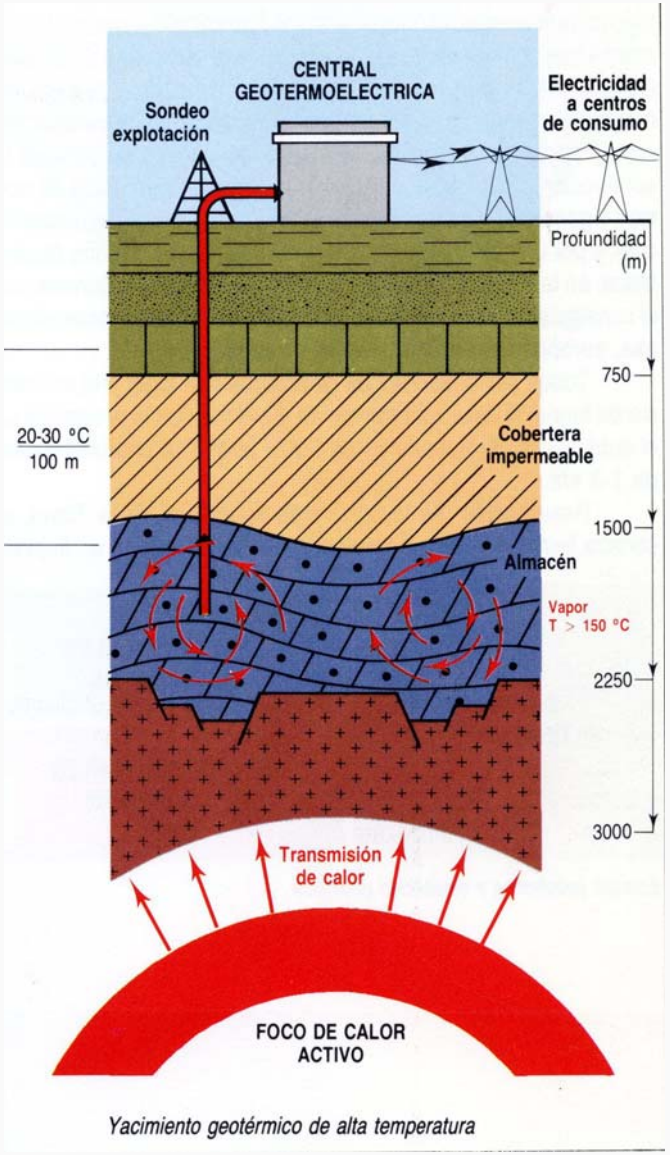
GESTIÓN INTEGRADA

SONDEO TIPO DE LOS REALIZADOS POR EL ITGE PARA LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR. PLAN DE EMERGENCIA ABASTECIMIENTO A LA BAHÍA DE CÁDIZ. OTOÑO 1995. CAUDAL 100 l/s



RECURSOS GEOTÉRMICOS

FASE	RECONOCIMIENTO	PREFACTIBILIDAD	FACTIBILIDAD	DESARROLLO Y EXPLOTACION
OBJETIVO	Selección de regiones geotérmicas Proposición de programas	Selección de áreas geotérmicas Estimación de potencial Proposición de modelo geológico	Confirmación y evaluación del yacimiento Estudios de viabilidad Proposición de sistemas de explotación	Confirmación extensión del campo Evaluación con la explotación Utilización del yacimiento
DURACIÓN	3-4 años	4-5 años	2-3 años	25-30 años



Yacimiento geotérmico de alta temperatura

Investigación minera: su objetivo es el descubrimiento de yacimientos de recursos minerales y, como consecuencia, su caracterización, evaluación y el diseño y preparación preparación para su puesta en explotación

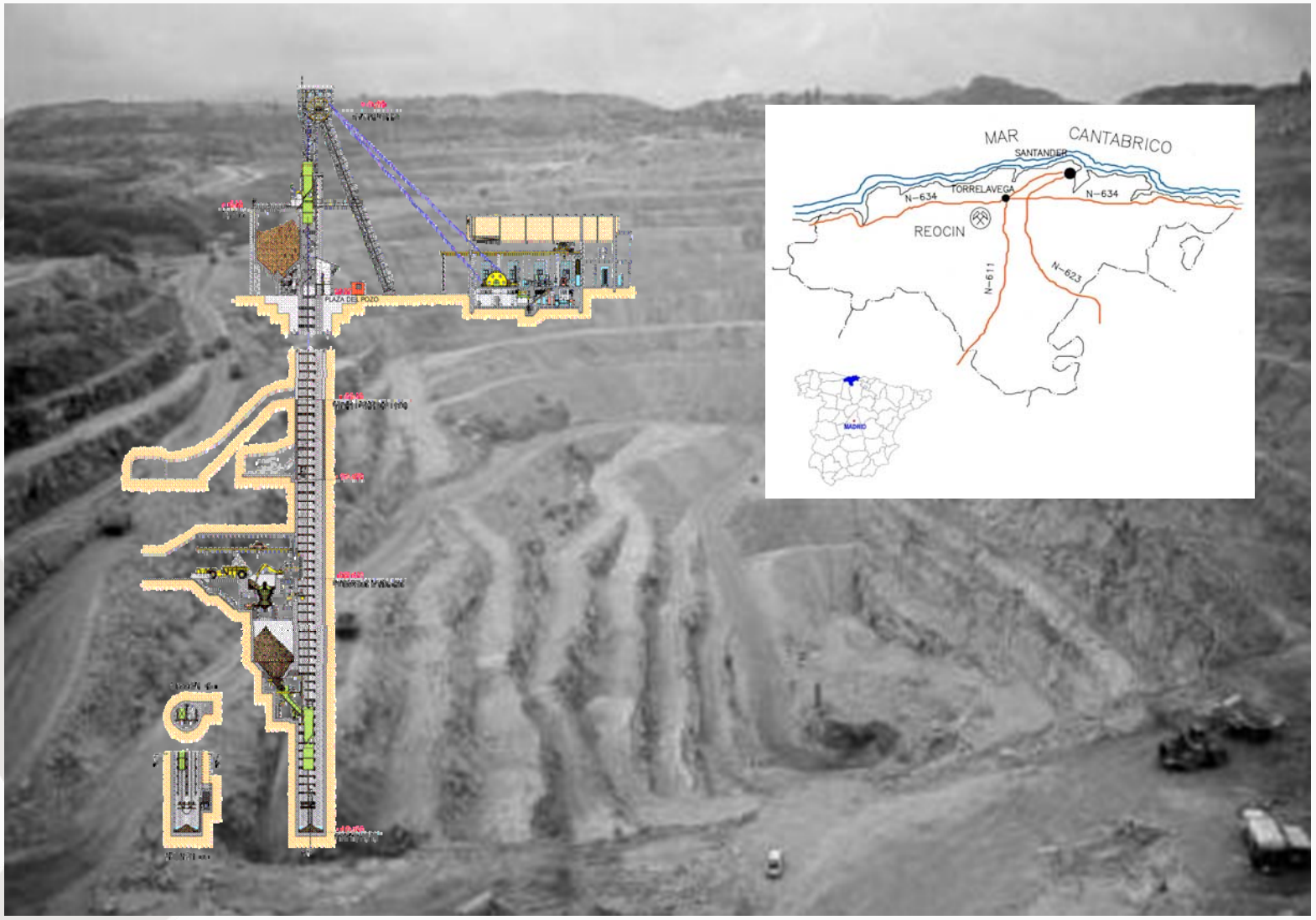
Se realiza en **fases concatenadas**, separadas por nudos de decisión.

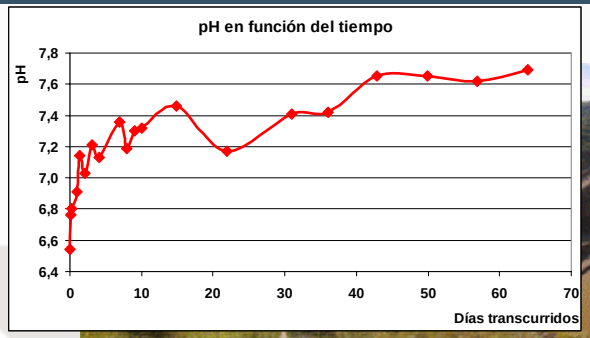
Fases	Fines y contenido del proceso	Actividades y técnicas empleadas
Fase 1 Fase Previa	Análisis de objetivos y selección de áreas con expectativas	Recopilación de información y de antecedentes (Aspectos jurídicos, económicos, sociales, logísticos y técnicos).
Fase 2 De Reconocimiento, Regional o Estratégica	Localizar subzonas o puntos de fijación para investigaciones de más detalle	Teledetección, Estudios geológicos, Exploración geoquímica (sedimentos, minerales pesados, litogeoquímica) Prospección geofísica aeroportada Integración de coberturas en GIS
Fase 3 Varias subfases técticas o de detalle	Estudios de detalle para reducir área, centrar objetivos y concentrar medios	Prospección al martillo, Geología, Geoquímica (suelos, plantas, gases, rocas...) Geofísica terrestre (gravimetría, magnetometría, y M. E. y E.Magnéticos) Labores mineras: pocillos, zanjas, calicatas, sondeos.

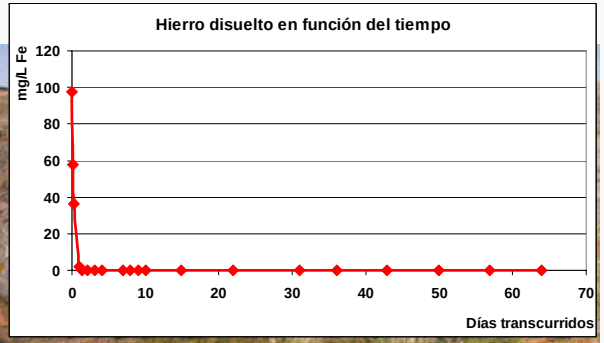
Fase 4 **Evaluación y determinación de recursos**	Conocimiento de los recursos y modelo de distribución espacial de leyes. Primeros estudios de caracterización del mineral. Estudios mineralúrgicos	Malla de sondeos. Testificación de columnas. Modelización del yacimiento, y distribución de leyes. Estudios petrográficos, petrofísicos, etc.
Fase 5 **Estudios de previabilidad Técnica y económica**	Programación de la investigación, incluyendo equipo técnico. Presupuesto de las inversiones Plazo de ejecución Estudio económico y plan de viabilidad	Diseño de planta de tratamiento Estudios geotécnicos, hidrogeológicos, sísmicos, etc. Estudio de impacto ambiental Plan de restauración Diseño de la explotación

EXPLOTACIÓN RESTAURACIÓN

RESTAURACIÓN mina de Reocín (Cantabria, España)

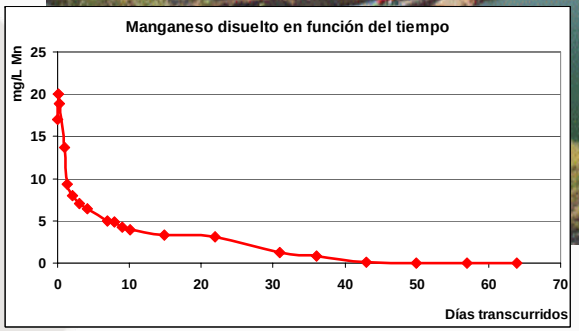

MAR
CANTABRICO
SANTANDER
TORRELAVEGA
N-634
N-634
REOCIN
N-611
N-623
MADRID
PLAZA DEL POZO

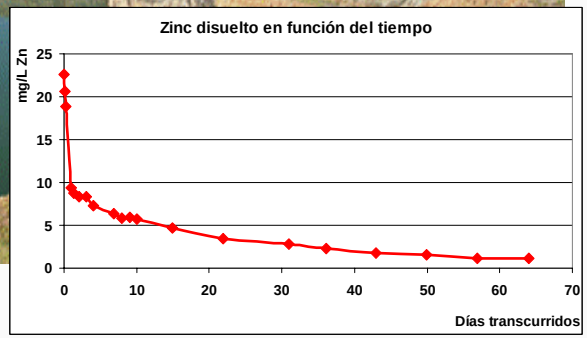




31/3/2006

8/5/2007



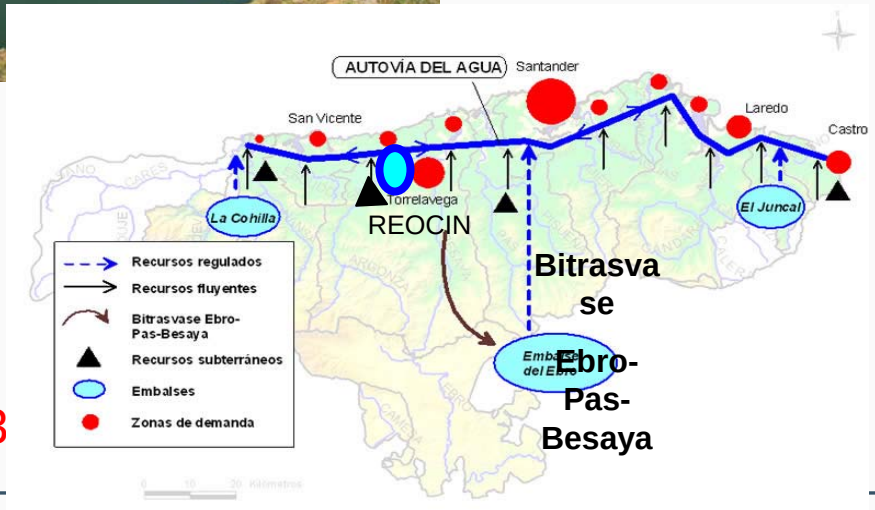


Estimación de reservas de los acuíferos Gargasienses y Albienses

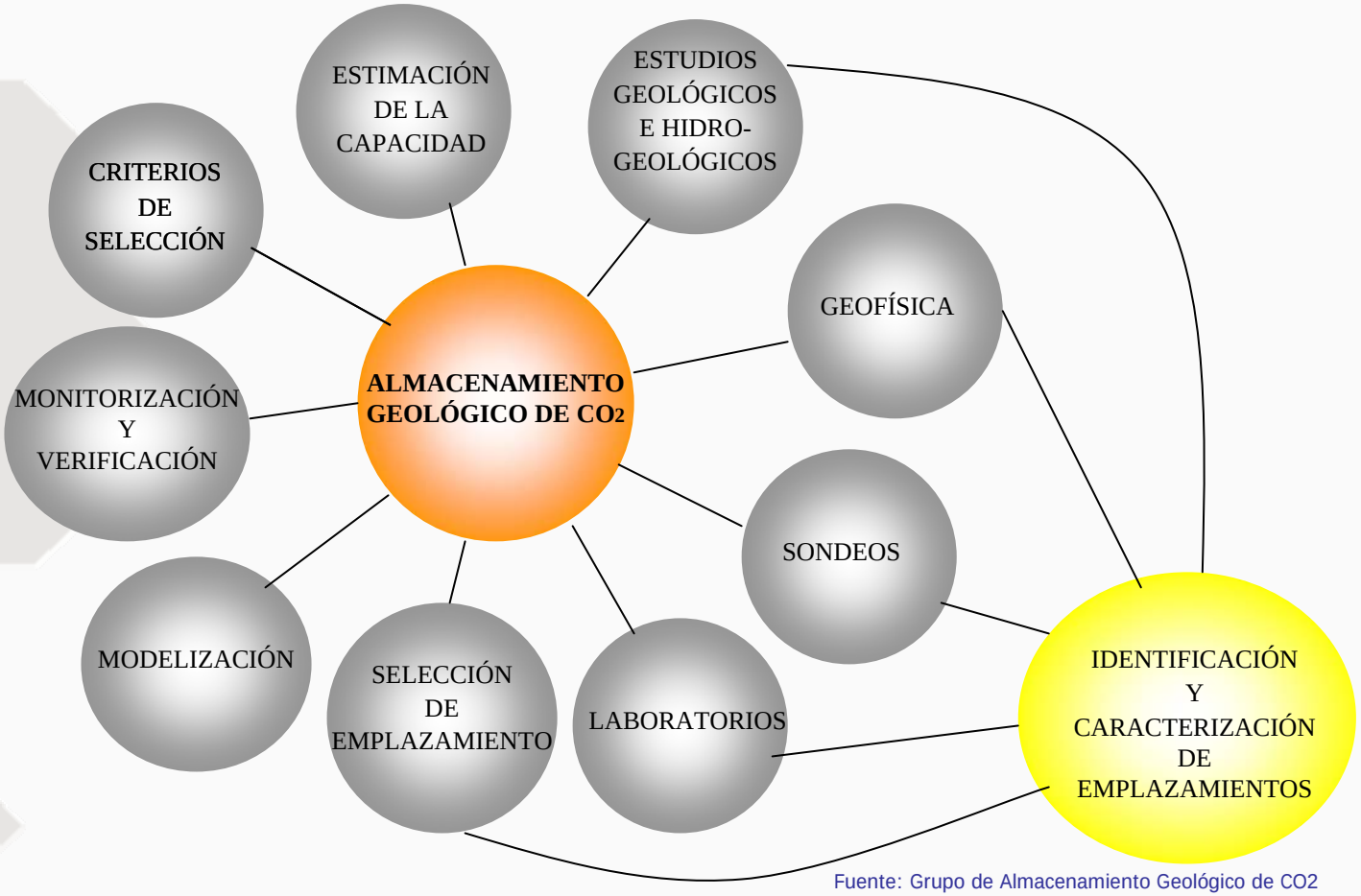
En Reocín hay un embalse subterráneo con una capacidad de 36,5 Hm3 (9,7 Hm3 en interior y 26,8 Hm3 en la Corta) hasta la cota +60 y unas reservas comprendidas entre 94 y 184 Hm3 en el Subsistema de Reocín por encima de la cota -500 s n.m.

Comparativa Capacidad embalses

Ebro :	540 Hm3
El Juncal:	2 Hm3
La Cohilla:	12 Hm3
REOCIN:	36,5 Hm3



FASES DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR EN EL ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO_2



Fuente: Grupo de Almacenamiento Geológico de CO2

i.suarez@igme.es, ro.martinez@igme.es

APLICACIONES EN CURSO, LOS EJEMPLOS DE ALEMANIA Y NORUEGA:

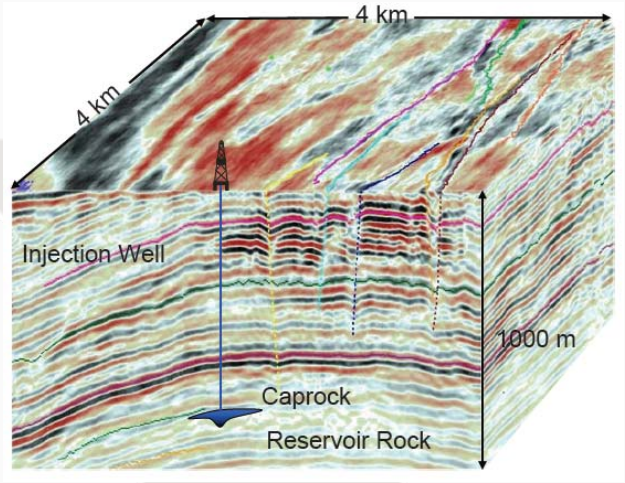
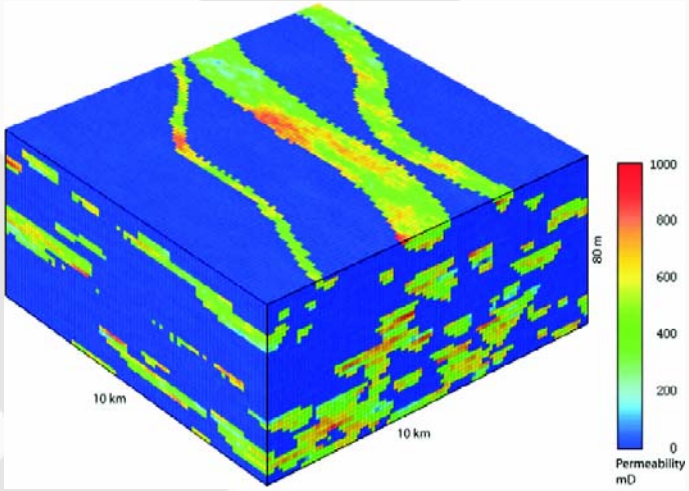
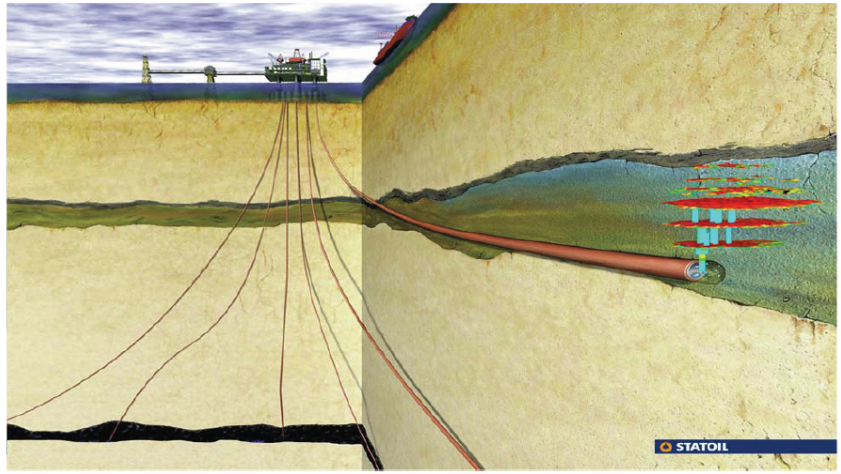


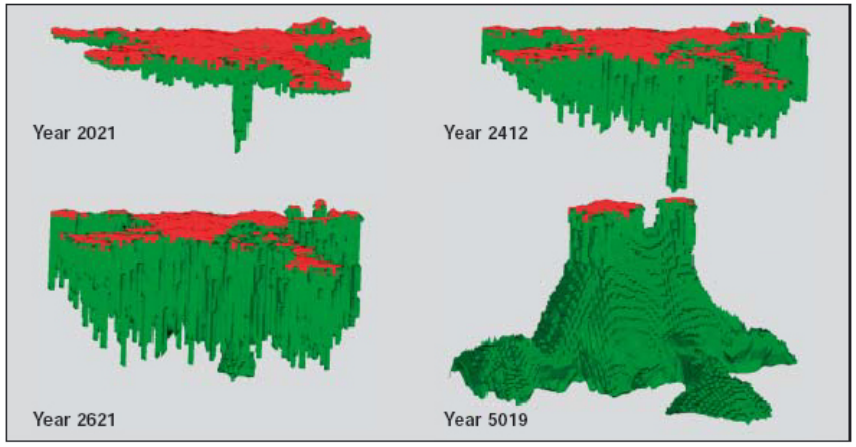
Imagen en sísmica 3D de la estructura de Ketzin.



Modelo de permeabilidades de la estructura de Ketzin

Sleipner CO2 Injection





Modelo de comportamiento del CO_2 a través del tiempo en el Almacenamiento de Sleipner (Noruega)

Aguas Minerales

FASES DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA 1

RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

INVENTARIO DE RECURSOS

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS DE DETALLE

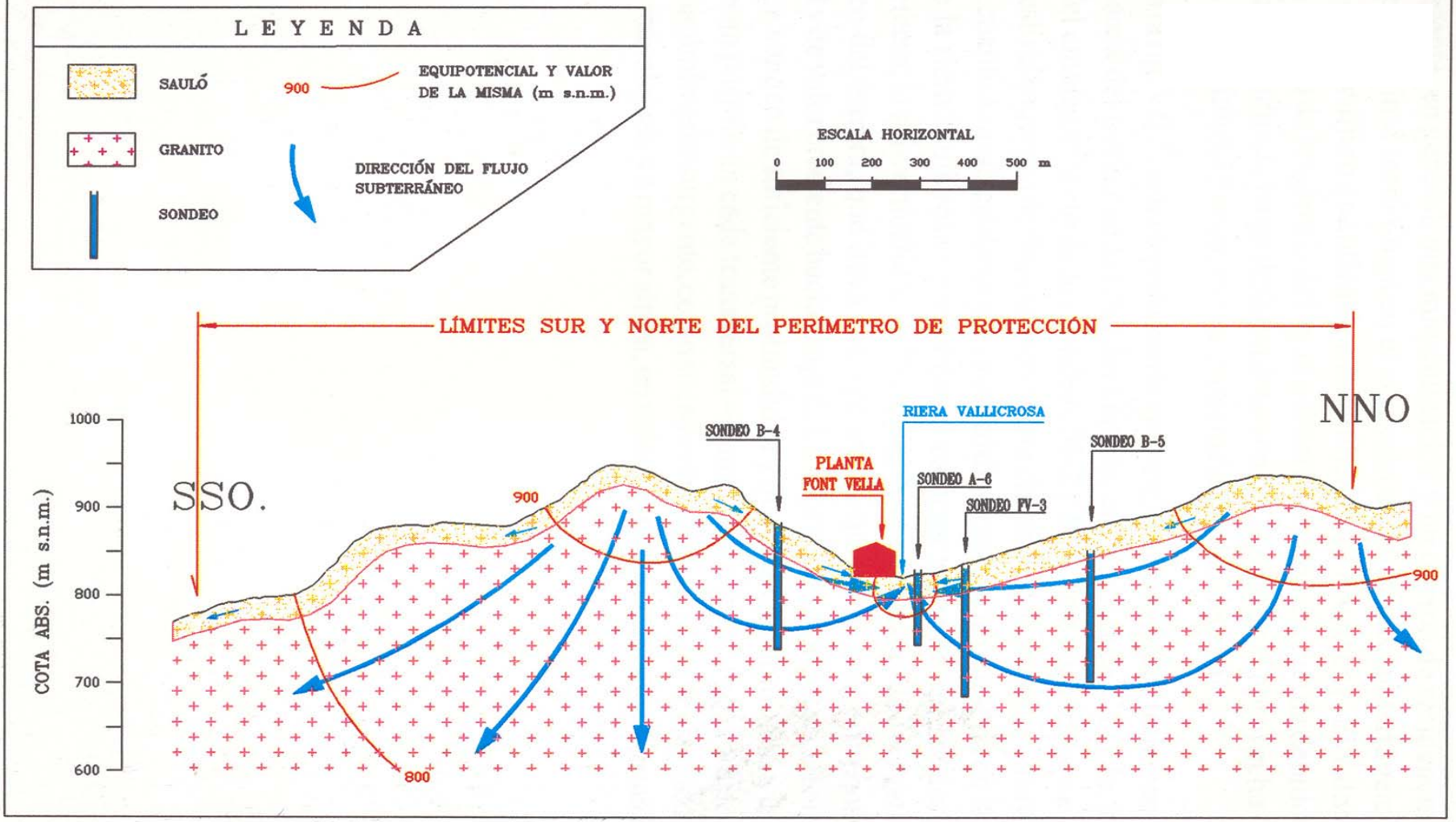
- CARTOGRAFÍA DEL ENTORNO
- RECONOCIMIENTO Y VALORACIÓN DE LAS CAPTACIONES.
- IDENTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA HIDROGEOLÓGICA.
- INTERPRETACIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO.
- EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS.

ESTUDIOS GEOQUÍMICOS

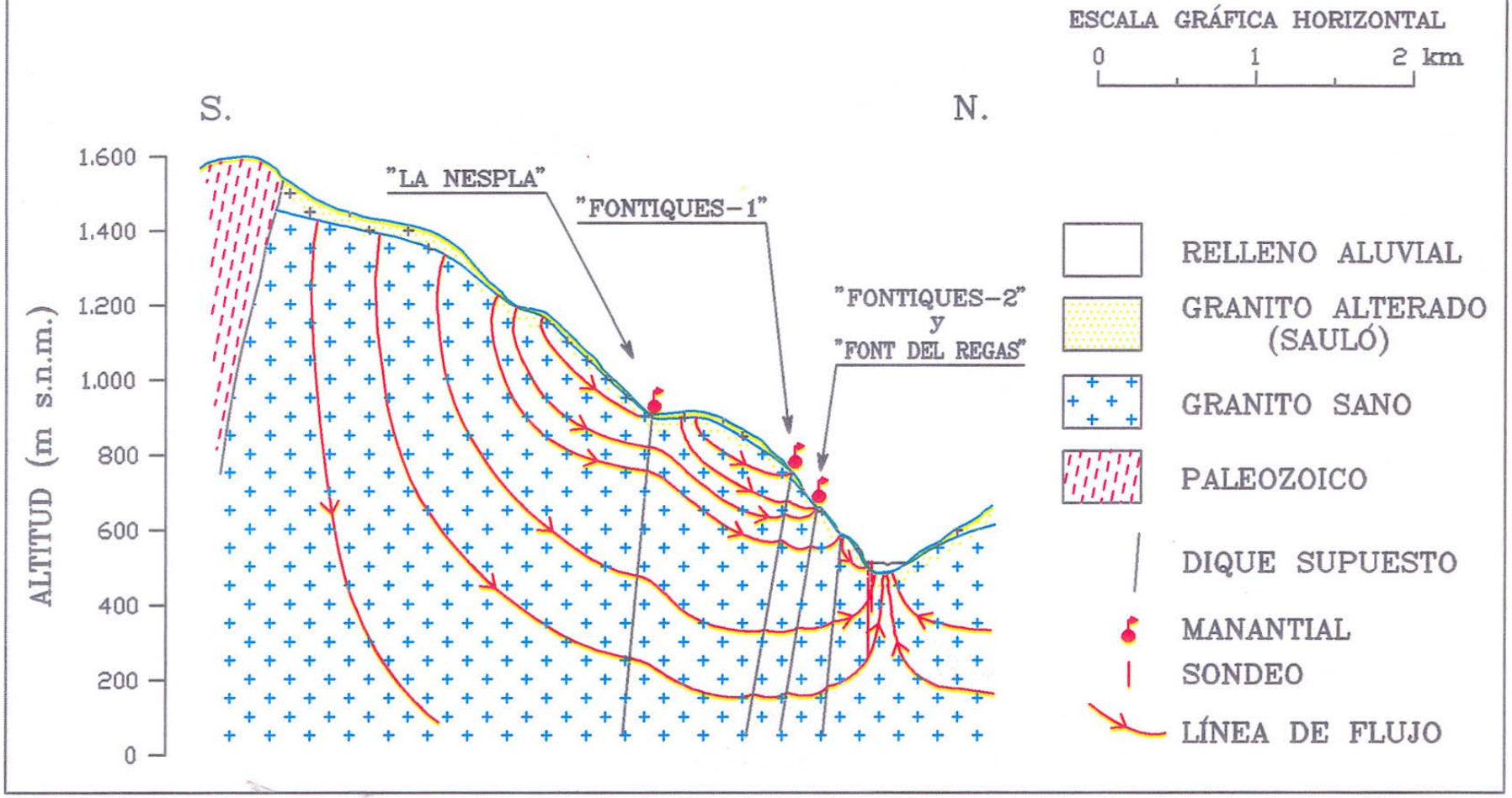
- MUESTREO DE AGUAS.
- MUESTREO DE GASES.
- DETERMINACIONES DE CAMPO.
- DETERMINACIONES DE ISÓTOPOS.
- ANÁLISIS DE LABORATORIO.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

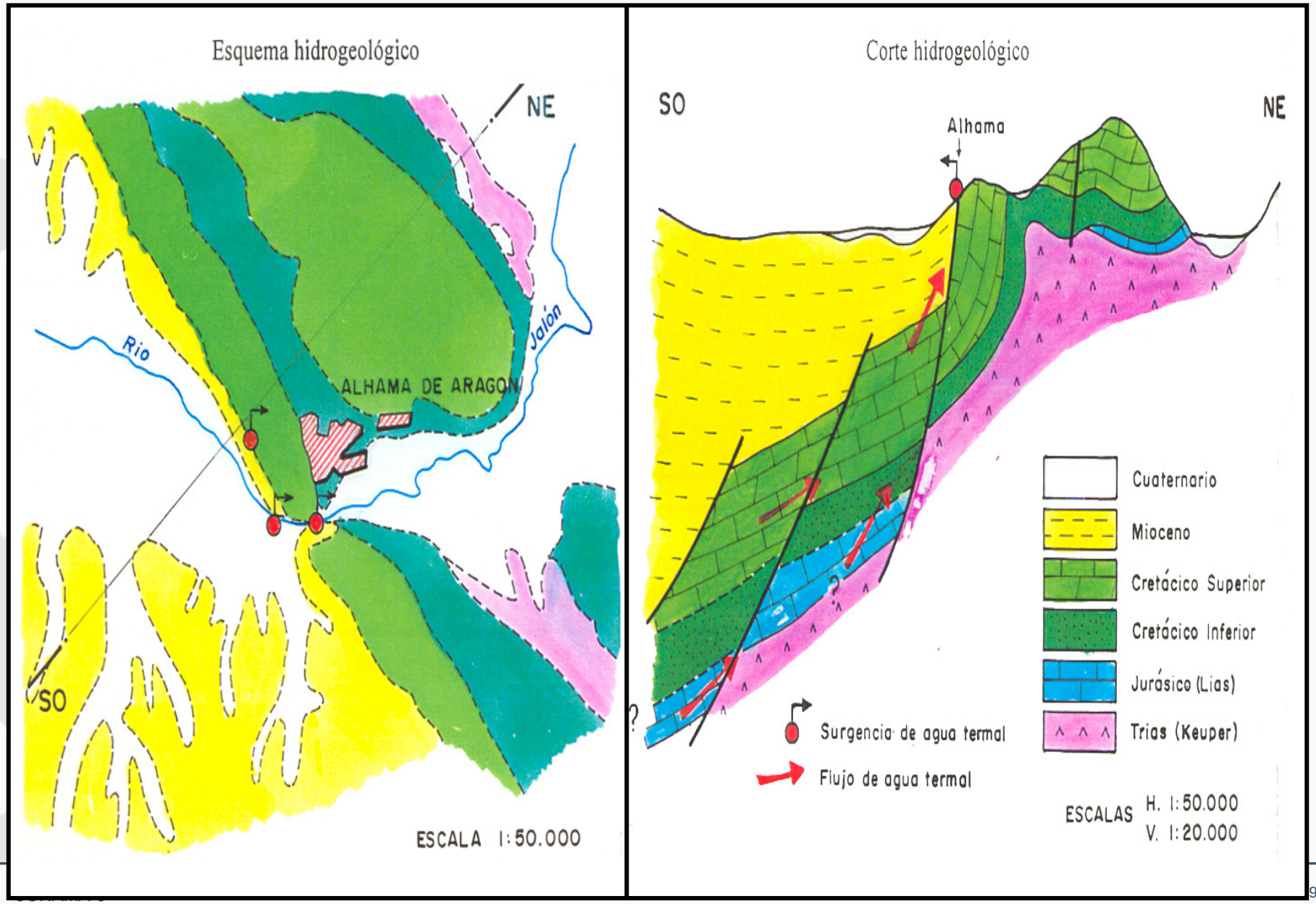
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA

ESQUEMA DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA ZONA DEL APROVECHAMIENTO "FONT VELLA"
PERFIL TRANSVERSAL A LA RIERA VALLICROSA



AGUA DE MANANTIAL "FONT DEL REGÀS"
ESQUEMA DE FLUJO SUBTERRÁNEO

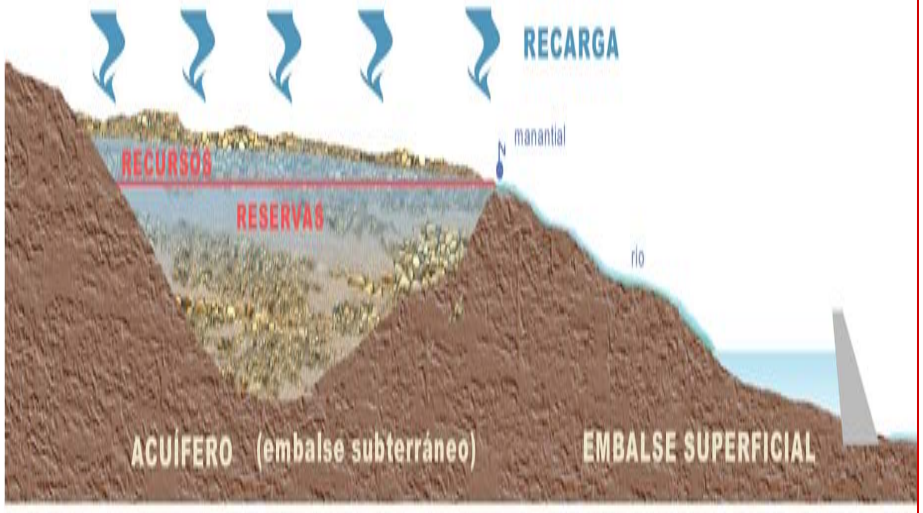


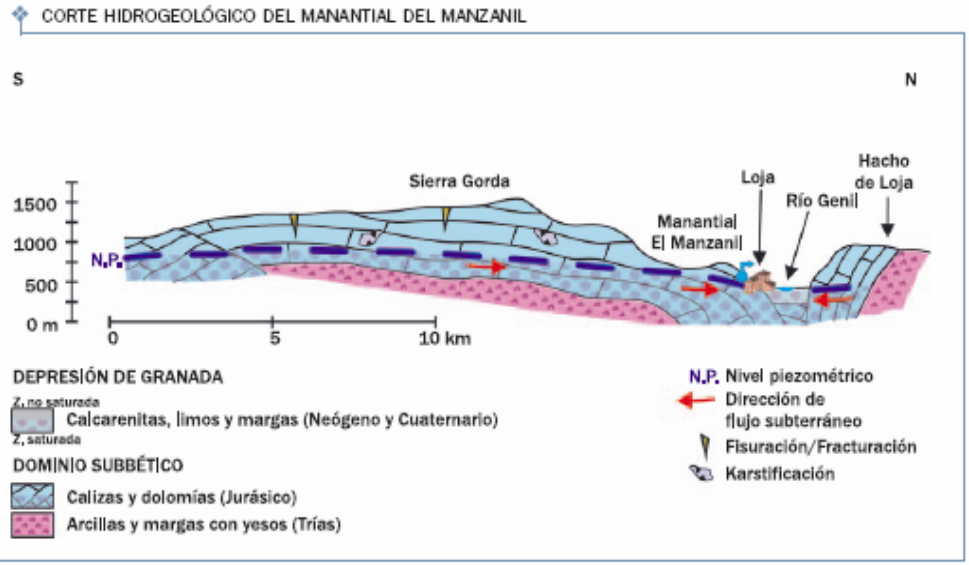

Esquema hidrogeológico
NE
SO
Río
Jalón
ALHAMA DE ARAGON
ESCALA 1:50.000
Corte hidrogeológico
SO
NE
Alhama
?
?
Cuaternario
Mioceno
Cretácico Superior
Cretácico Inferior
Jurásico (Lias)
Trias (Keuper)
Surgencia de agua termal
Flujo de agua termal
ESCALAS H. 1:50.000
V. 1:20.000

ALMACENAMIENTO

OBJETIVO : Utilizar:

- la capacidad de almacenamiento de los acuíferos
- y la movilidad del agua a través del medio subterráneo.



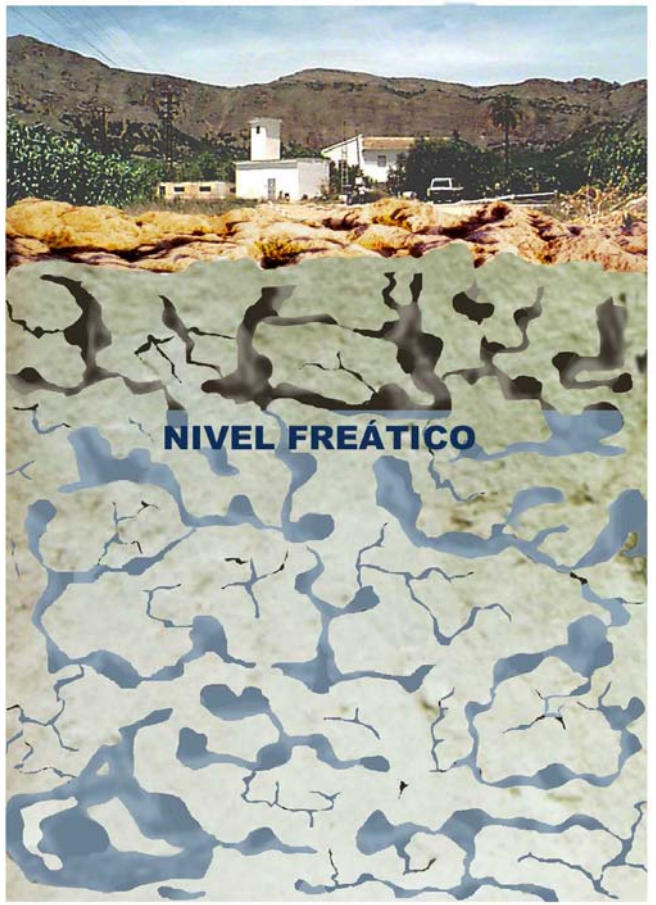


FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA REGULACIÓN HÍDRICA MEDIANTE ACUÍFEROS

Los acuíferos como embalses

Aprovechar los huecos, es decir los poros o fisuras que presentan las rocas y en las que su explotación ha originado un cierto vacío, que puede ser cuantificado y rellenado posteriormente con aportes externos, para extraerlos cuando la programación lo requiera.

Si este vacío antrópico no existiera,se podría proceder a su vaciado artificialmente, hasta alcanzar la capacidad requerida para la operación.



N LA GESTIÓN de un acuífero hay que tener en cuenta dos características principales:

Capacidad de almacenamiento: aptitud natural que presentan los acuíferos para almacenar en su interior significativos volúmenes de agua.

Capacidad de regulación: aptitud que presentan los acuíferos para almacenar el agua en unas épocas y poderla extraer en otras.

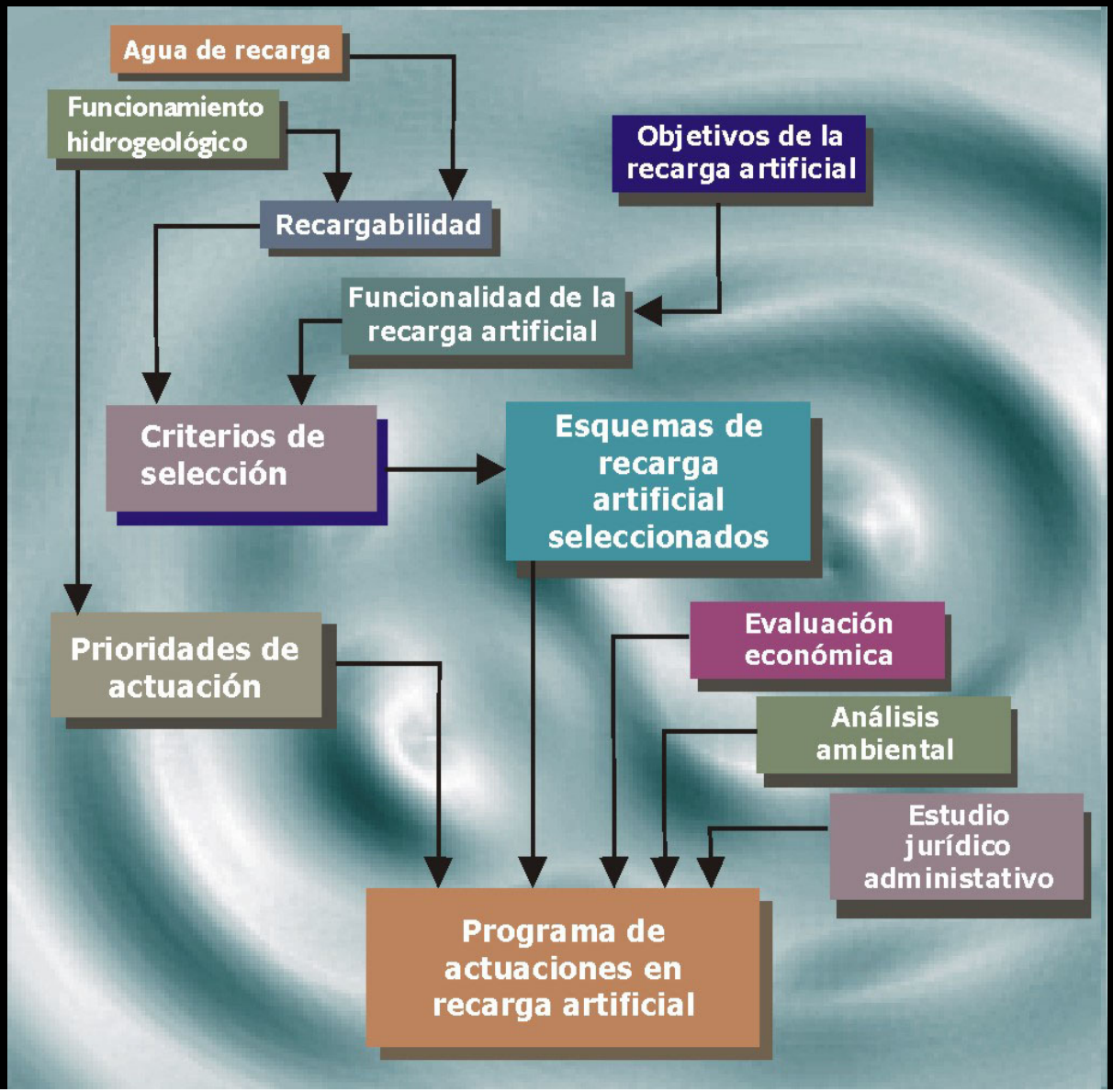
HERRAMIENTA TÉCNICA: la recarga natural o artificial,es el sistema que permite incorporar las aguas excedentarias a un acuífero o estructura subterránea.

Para ello hay que tener en cuenta:

- la disponibilidad de recursos hídricos y la su variabilidad temporal de los caudales y su calidad,

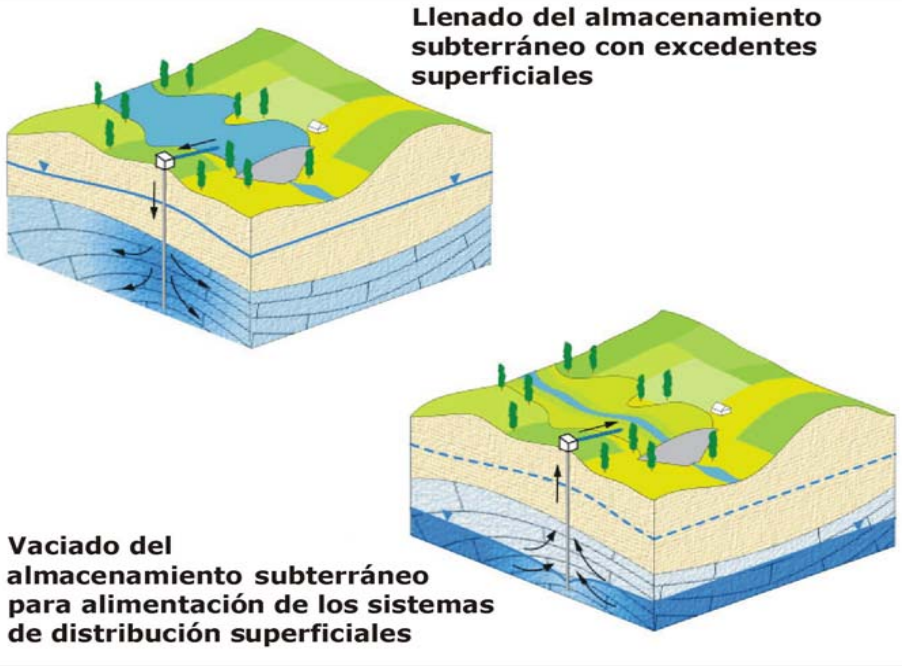
- que el acuífero tenga capacidad de almacenamiento suficiente, y condiciones adecuadas de transmisividad, y contornos adecuados.

SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS.



Considerando estos aspectos, los sistemas hidrogeológicos desde el punto de la gestión se agruparían en tres categorías:

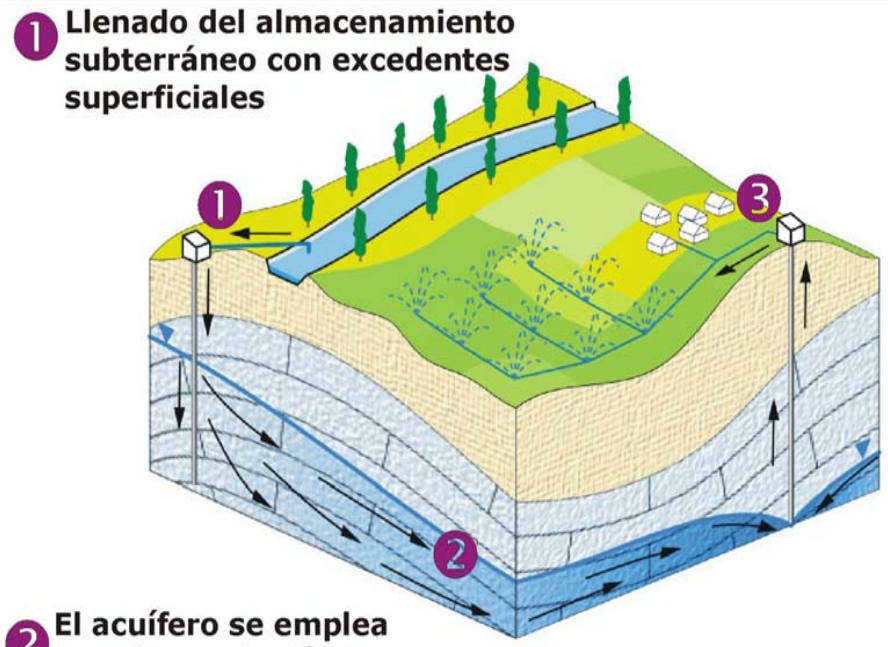
- Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión estática para regulación en tránsito*. En ellos se recarga agua en el periodo de excedentes, para posteriormente volver a bombearla al sistema de transporte en periodos de demanda.



El papel de los acuíferos es idéntico al de los embalses superficiales; los acuíferos son utilizados, según los casos, como alternativa o complemento a la regulación mediante embalses superficiales.

•Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión estática con aprovechamiento:* se recargan temporalmente, permitiendo su uso en zonas próximas al almacenamiento subterráneo.

• Sistemas hidrogeológicos que permiten una *gestión dinámica por conducción*. Se aprovecha la capacidad de regulación natural, se combinan las funciones de almacenamiento y conducción a través del mismo. El agua recargada fluye a través del acuífero hasta las zonas de demanda, donde es captada.



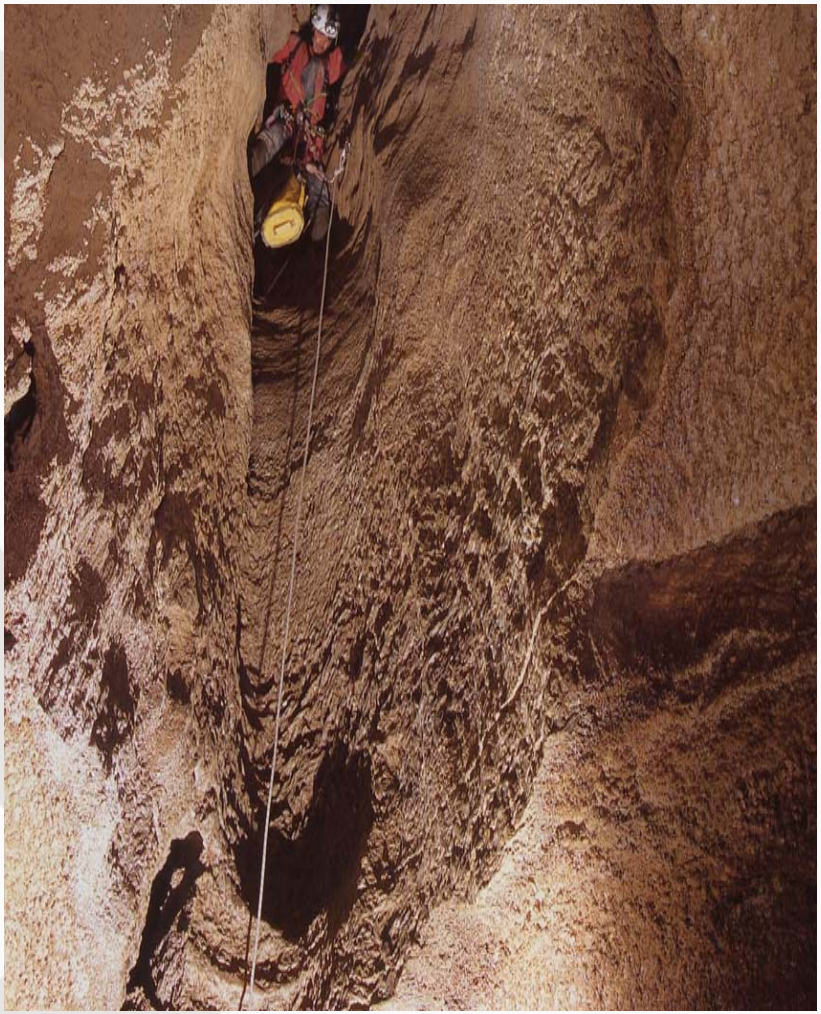
Estos están relacionados con el concepto de regulación en destino.

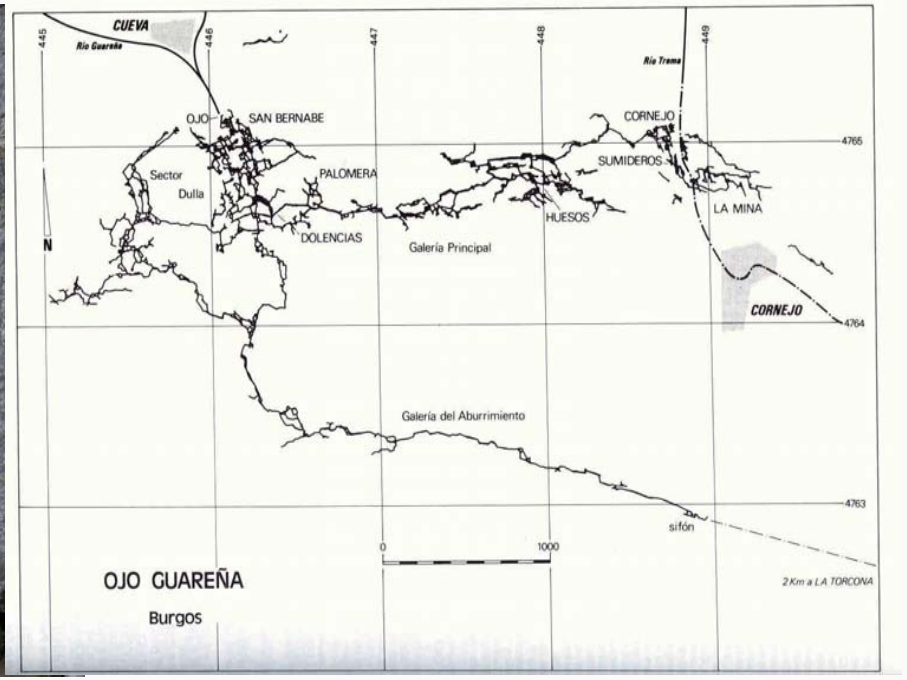
USO LÚDICO-INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la mayor cueva conocida?

La Mammoth Cave, en Estados Unidos,
descubierta en el año 1799

Karst de Sorbas, Sorbas (Almería)



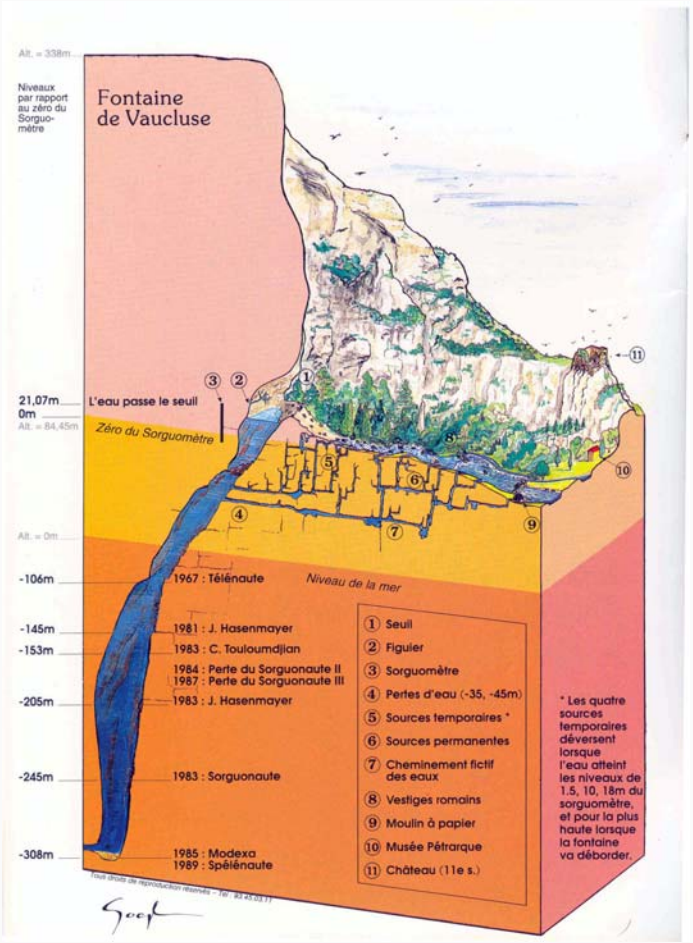


El complejo de Ojo Guareña, Burgos

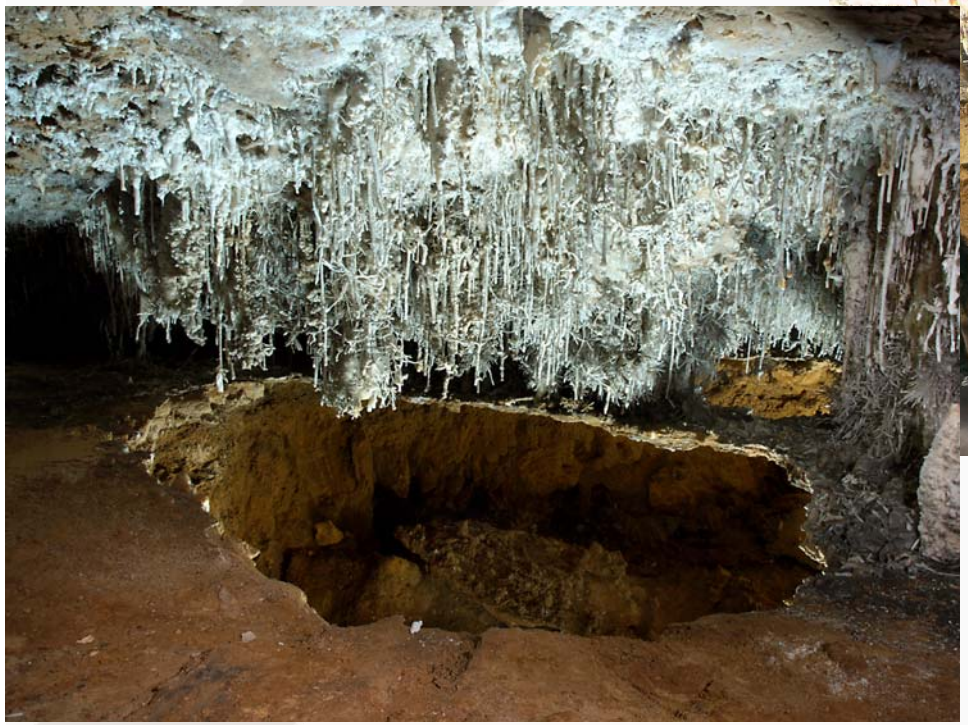
El mayor enrejado kárstico de España, con más de 100 kilómetros de recorrido

¿ Y el manantial kárstico más profundo?

El manantial de Vaucluse, en Francia, con más de 300 metros explorados

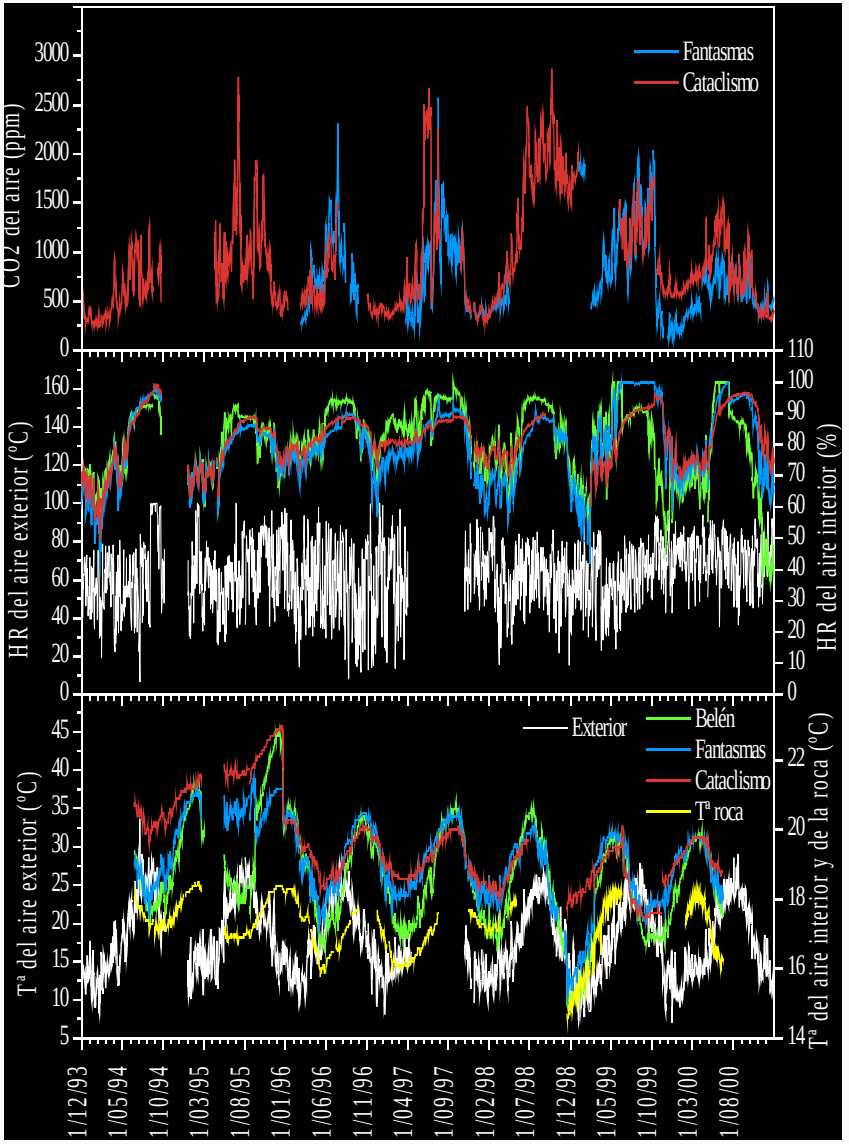


El Soplao, Nansa-Rio Celis (Cantabria)

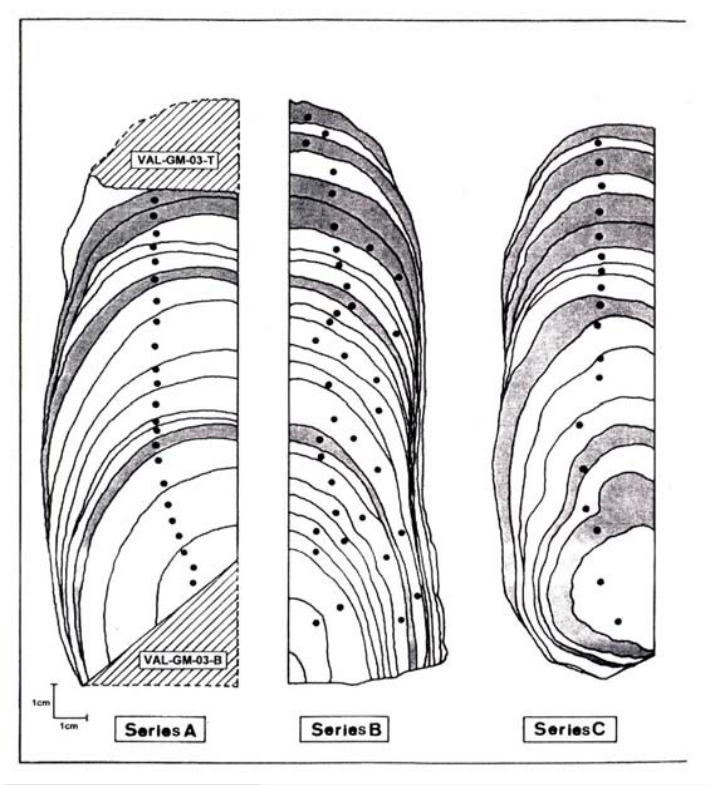


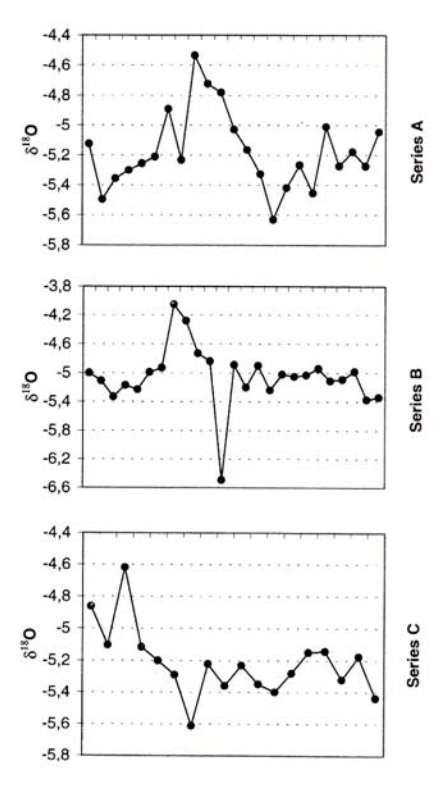
Gestión e investigación en las cuevas turísticas españolas: objetivos, la gestión sostenible, la conservación y la alta divulgación

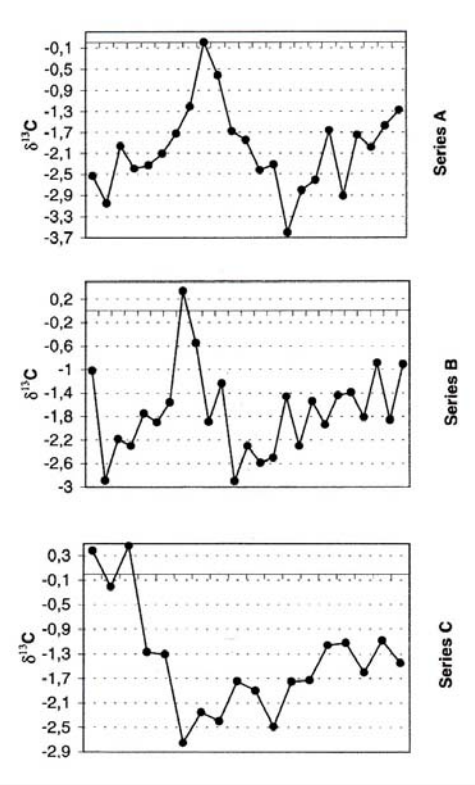
La importancia de los controles ambientales en las cuevas turísticas


CO2 del aire (ppm)
Fantasmas
Cataclismo
HR del aire exterior (ºC)
HR del aire interior (%)
Tª del aire exterior (ºC)
Exterior
Belén
Fantasmas
Cataclismo
Tª roca
Tª del aire interior y de la roca (ºC)
1/12/93
1/05/94
1/10/94
1/03/95
1/08/95
1/01/96
1/06/96
1/11/96
1/04/97
1/09/97
1/02/98
1/07/98
1/12/98
1/05/99
1/10/99
1/03/00
1/08/00

Isótopos estables del Carbono y del Oxígeno

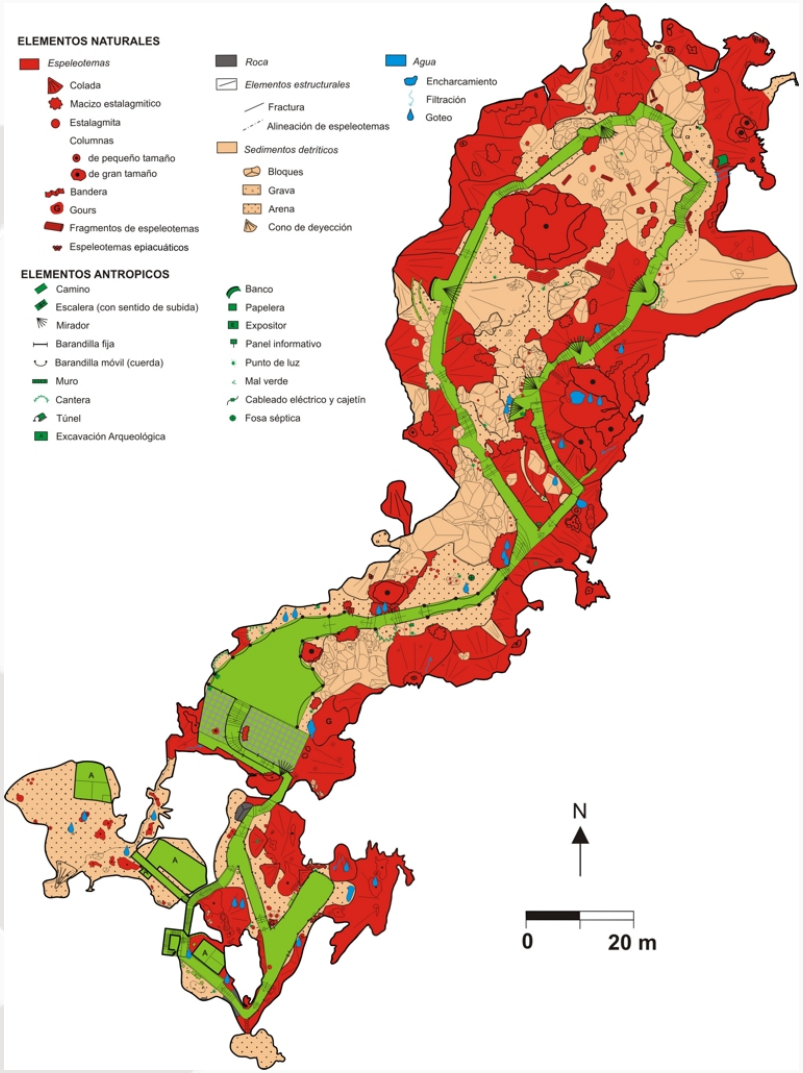


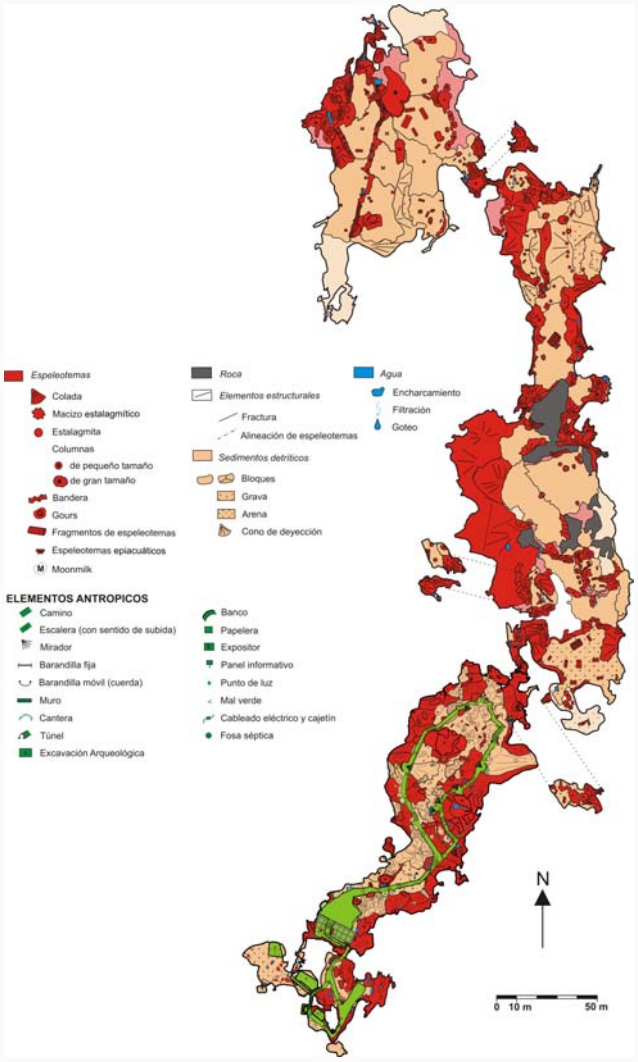




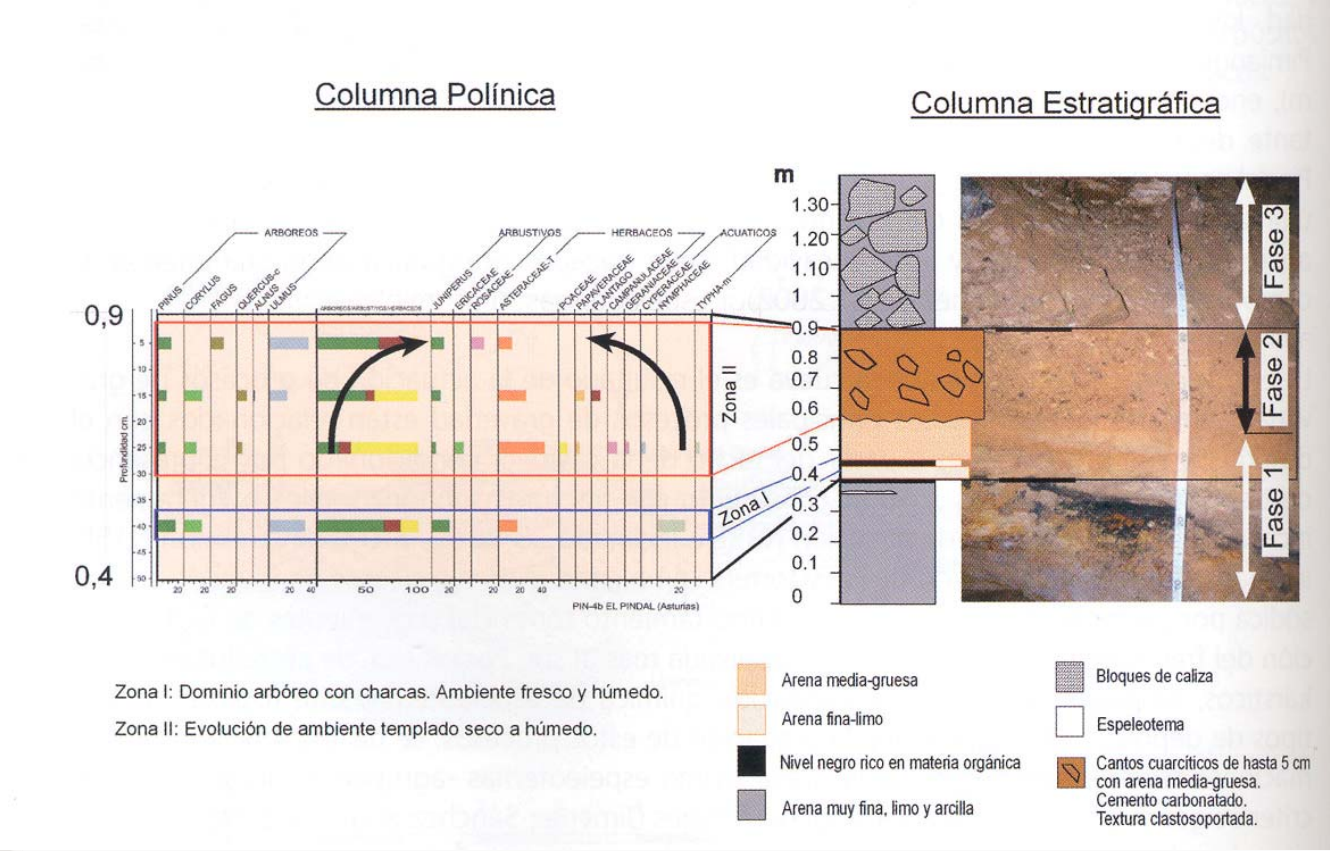
Geomorfología endokárstica

Cartografía geomorfológica





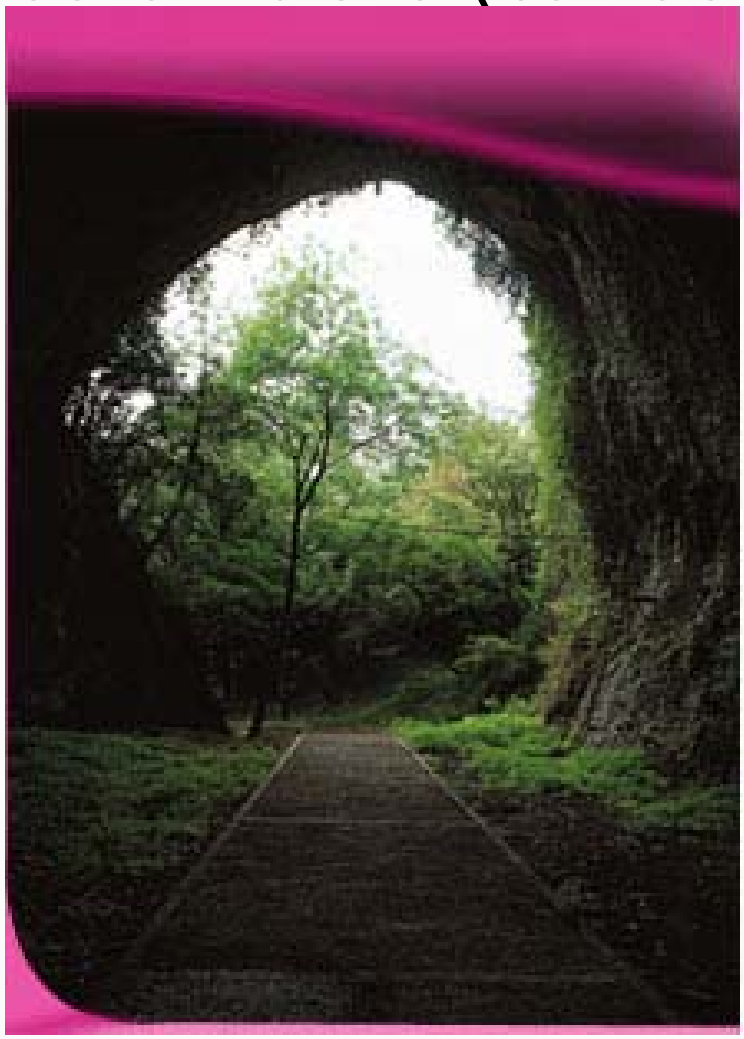
Sedimentología



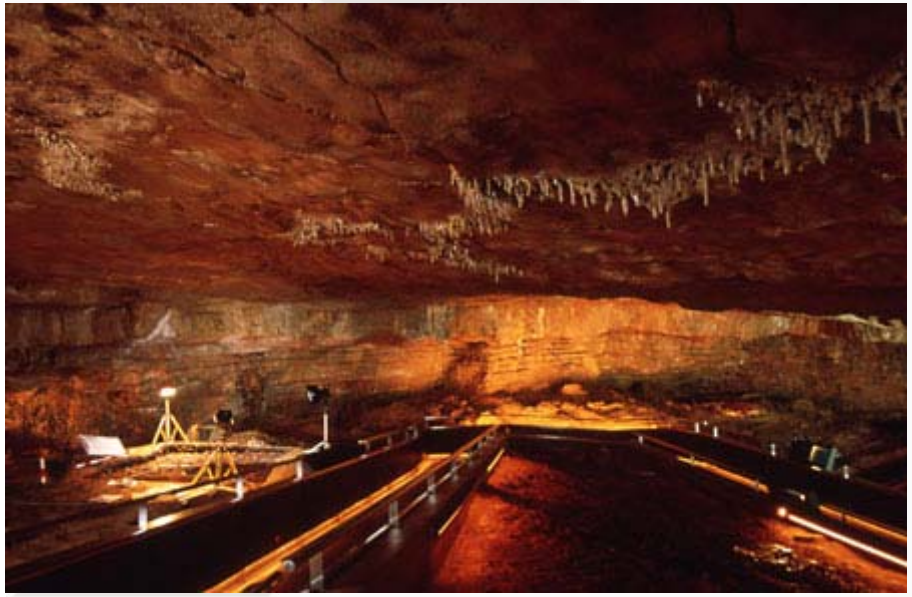
Bioespeleología

CULTURAL

Cueva de Cullalvera, Ramales de la Victoria (Cantabria)



Cueva de Altamira, Santillana del Mar (Cantabria)



Cuevas del Monte Castillo, Puenteviesgo (Cantabria)

El Castillo
Las Monedas
La Pasiega
Las Chimeneas
La Flecha

Atapuerca: investigando los orígenes de la humanidad en el subsuelo kárstico. Casi un millón de años de registro en los rellenos de antiguas cuevas frecuentadas por el hombre

Instituto Geológico
y Minero de España