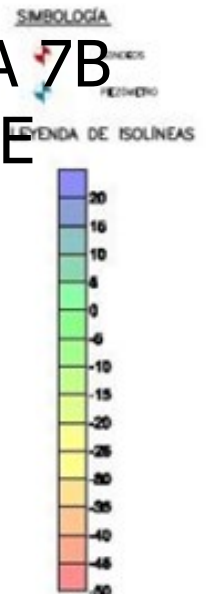
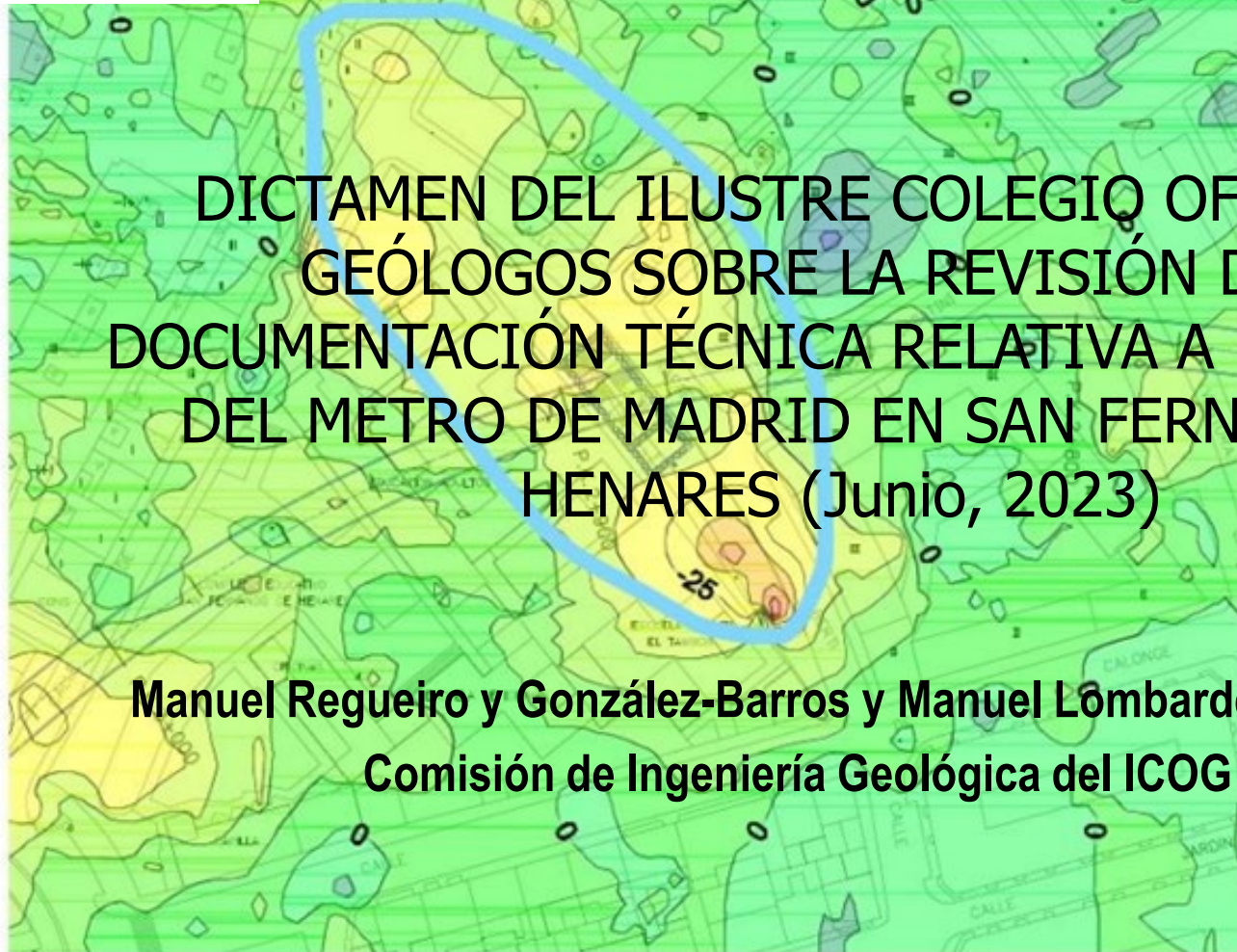




ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS DE ESPAÑA

**DICTAMEN DEL ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE
GEÓLOGOS SOBRE LA REVISIÓN DE LA
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA RELATIVA A LA LÍNEA 7B
DEL METRO DE MADRID EN SAN FERNANDO DE
HENARES (Junio, 2023)**

**Manuel Regueiro y González-Barros y Manuel Lombardero Barceló
Comisión de Ingeniería Geológica del ICOG**



- **Valoración** de la información técnica disponible sobre los **aspectos geológicos, hidrogelológicos y geotécnicos** en los proyectos de construcción iniciales y estudios posteriores
- **Diagnóstico** integrado desde los puntos de vista **geológico, geotécnico e hidrogeológico** sobre las patologías observadas descritas en tales documentos
- **Propuesta** de las actuaciones pertinentes e inmediatas para el avance en la toma de decisiones

INVENTARIO DE DOCUMENTOS

- **Inventariados 76 documentos**, 33 disponibles en el Ayuntamiento o conseguidos de otras fuentes, **43 no disponibles**.
- **Se requirió a la Comunidad de Madrid**, a través del Ayuntamiento, para que proporcionase los 43 documentos no disponibles, y otra información técnica relevante, **sin resultado**
- Se recopilaron **12 publicaciones científicas** y el Manual de la IAEG sobre Modelos de Ingeniería Geológica aplicados a los proyectos, así como la **Sentencia del Tribunal Superior de Justicia de Madrid** del proceso contencioso-administrativo de Dragados S. A. contra la Comunidad de Madrid

ANÁLISIS

Análisis crítico **geológico e hidrogeológico de la documentación**, así como de las patologías del terreno de las que se han tenido datos

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y BASE DE DATOS ASOCIADA

Se ha confeccionado una **base de todos los datos** susceptibles de integrarse en un **Sistema de Información Geográfica** (SIG), con objeto de utilizarlo en su momento en el desarrollo del Modelo Geológico e Hidrogeológico que se propone.

DICTAMEN

Redacción del Dictamen, que incluye la **descripción de los proyectos**, la **interpretación analítica y diagnóstica** de la información técnica disponible, y la **propuesta** para el ulterior estudio de las soluciones a tomar.

- El subsuelo de San Fernando es un **terreno evolutivo desde los 10-12 m hasta al menos 55-60 m de profundidad** (Unidad Salina), en el que se dan varios fenómenos: *karstificación de la roca de yeso* **transformación de *glauberita-thenardita* en yeso y la disolución de *halita* (sal común).** Es un **proceso natural** debido a la infiltración de agua dulce de las lluvias y del río Jarama. Ello produce una **muy lenta disminución de volumen del terreno**, a lo largo de miles de años
- La construcción del Metro produjo un **aumento brusco de la infiltración de agua dulce desde la superficie** (acuífero aluvial), alterando el régimen hidrogeológico natural, de forma que **los procesos se aceleraron enormemente en profundidad.** El resultado es la rápida disminución de volumen y, en superficie, **asentamientos del terreno, con fallo del cimiento de los edificios**

ANÁLISIS 1. FASE DE PROYECTO

- Proyecto de Construcción. EUROESTUDIOS, junio 2004
- Proyecto Complementario. INTECSA-INARSA, julio 2005
- Proyecto Modificado nº 1. INTECSA-INARSA, julio 2005

Análisis crítico:

Pese a haberse detectado en el subsuelo la presencia de **sales solubles** tales como glauberita, halita y anhidrita, todos ellos minerales inestables en presencia de agua; así como **evidentes huecos de disolución**; **no se destacaron tales hechos fundamentales, y no se tuvieron en cuenta** en el diseño. Por ello **no previeron las medidas de actuación imprescindibles** para evitar la evolución del terreno

El estudio de la hidrogeología en todos los proyectos fue muy superficial, no se identificaron correctamente los dos acuíferos que existen en la zona

Estudio Hidrogeológico (2008)

Hito fundamental redactado por las Universidades **Complutense y Politécnica de Madrid**, a raíz de observarse que **el caudal del agua extraída por el pozo de bombeo se había multiplicado por 20 en menos de un año**, y el agua bombeada era **muy salina**, afectando al funcionamiento de la EDAR de Casaquemada

Análisis crítico:

- Se identificaron correctamente el **Acuífero Aluvial**, de agua dulce, hasta 10-12 m de profundidad y **Acuífero Salino**, a partir de los 20-24 m de profundidad
- **La interacción del agua dulce subterránea con los minerales del sustrato yesífero - salino produce reacciones químicas rápidas**, como la *karstificación* del terreno. La **disolución de halita produjo aproximadamente 13.500 m³ de huecos en el subsuelo, en solamente cinco meses de 2008**
- **Se avisaba que ello podría tener consecuencias geotécnicas importantes**, llegando a comprometer la estabilidad del túnel del metro y de las cimentaciones de los edificios circundantes, **como así ha sido**

Proyecto de reparaciones (2009)

Redactado por MINTRA, estuvo centrado principalmente en la reparación del pozo de bombeo y ventilación del PK 2+880, aunque también se previó actuar sobre el túnel

Análisis crítico:

- Se indicó que no había filtraciones masivas en el túnel ni en las estaciones
- **Se restó importancia al problema**, afirmando que era un fenómeno puntual en las inmediaciones al pozo de bombeo, **en contradicción con las conclusiones del Estudio Hidrogeológico** del año anterior
- Se decía que la presencia de sales no había sido detectada en los proyectos de construcción, **en contradicción con la descripción de la testificación de los sondeos realizados en éstos**

ANÁLISIS 4. PERIODO SIN ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Ausencia de estudios geológicos (2009-2011)

Entre mediados de 2009 y 2011 no parece que se avanzase en el conocimiento geológico del subsuelo.

Se tienen referencias (aunque ningún documento técnico) sobre la aparición de daños estructurales en el Complejo Dotacional El Pilar y en edificios de las calles Pablo Olavide - Francisco Sabatini - Rafael Alberti, Lisboa 2 al 10, Parque Dolores Ibarruri, Vergara 16 al 20, Somorrostro 10 al 16, Adolfo Pérez Esquivel 1, Vitoria 17 al 23. También de que **se realizaron estudios geotécnicos (que no geológicos)** de edificios concretos (C/ Vergara 16) por parte de GEOCISA; de que se midieron asentamientos del terreno y en edificios y que se hicieron algunos informes sobre graves filtraciones de agua a través de las pantallas de pilotes en la Estación de Jarama

Investigación de GEOCISA y proyecto de reparaciones (2011)

Actuaciones de urgencia de MINTRA debido al agravamiento de los daños y a las quejas del Ayuntamiento de SFH. Aun **sin conocer a fondo las causas del problema**, era obvio que:

- **La karstificación y las transformación mineral glauberita-yeso** eran procesos generalizados afectando a un volumen importante del subsuelo
- **La impermeabilización mediante inyecciones del pozo de bombeo no había sido eficaz**

Análisis crítico:

Se diseñó una solución convencional esperando que funcionase, pese a la anterior experiencia negativa de impermeabilización con inyecciones del pozo en 2009

ANÁLISIS 6. PERIODO SIN ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Periodo de reparaciones y sin estudios geológicos detallados (2011-2014)

- MINTRA se extinguió en julio de 2011, asumiendo sus competencias la Consejería de Transportes e Infraestructuras.
- Durante tres años, hubo obras en el túnel y de remediación en los edificios, **relatadas en varios informes que no se han podido consultar**
- **No parece que se hiciera investigación geológica relevante**, fuera de la auscultación geotécnica, la cual mide indirectamente el proceso.
- **Continuaba (y continúa) sin saberse en detalle cómo es el flujo del agua subterránea** que produce la karstificación y las trasformaciones minerales
- Los asentamientos se daban en un área elongada en dirección transversal a la traza del túnel, por lo que las filtraciones a éste no son la causa principal

ANÁLISIS 7. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Proyectos de reparaciones de RODIO-KRONSA e Informes de MAYO GEOTECNIA (2015-2016)

Proyecto de reparaciones mediante inyecciones, apoyado en tres informes geológico-geotécnicos en los que se perforaron 17 sondeos. Con los datos de los sondeos, el ICOG ha podido establecer la columna estratigráfica tipo del subsuelo de SFH.

Análisis crítico:

- Acertadamente, por primera vez se utilizó salmuera como fluido de perforación de sondeos
- **Innecesaria carga geotécnica, en detrimento de la interpretación geológica**
- Se **confundieron sales muy solubles como la *glauberita* y la *halita* con “yeso cristalizado” o “yeso transparente”,** lo cual produjo errores de interpretación

ANÁLISIS 8. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Informes sobre obras de remediación (2016-2020)

Se trata de documentos redactados por GAMMA GEOTECNIA (2016), SGS (2016), RODIO-KRONSA (2016), FHECOR-ADAMAS (2019) y GEOCISA (2020)

No se han analizado, al no haberlos proporcionado la Comunidad de Madrid

ANÁLISIS 9. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Estudios de INES Ingenieros Consultores (2020-2021)

Varios estudios temáticos encargados por la Consejería de Transportes, parte de los cuales no han podido consultarse al no haberlos proporcionado la Comunidad de Madrid.

Conclusiones:

- Los problemas se deben a una combinación de la consolidación debida a la depresión del nivel freático del acuífero del Jarama, y a la disolución de minerales, como ya anticipó el Estudio Hidrogeológico veinte años antes
- **La karstificación del yeso a escasos 10 m de profundidad, podría ser la responsable de una parte importante de los movimientos del terreno en superficie**
- La disolución y cambios mineralógicos en la Unidad Salina causan **los movimientos profundos del terreno: asentamientos en el túnel, pozo de bombeo y galería de conexión.**

ANÁLISIS 10. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Estudio INES (2020-2021)

Conclusiones (continuación):

- **Todos los procesos seguirán activos mientras el agua siga entrando en el túnel y se siga bombeando desde el pozo**

Análisis crítico:

INES tomó gran cantidad de datos de sondeo, mineralógicos, geofísicos, piezométricos e instrumentales. **Esa ingente cantidad de información no fue debidamente utilizada:** En el informe, conceptualmente bien planteado, muchos datos no se aprovecharon. Hay escasez de gráficos, planos, esquemas y resúmenes, al mismo tiempo que el **texto del informe peca de árido, reiterativo y difícil de entender.**

ANÁLISIS 11. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

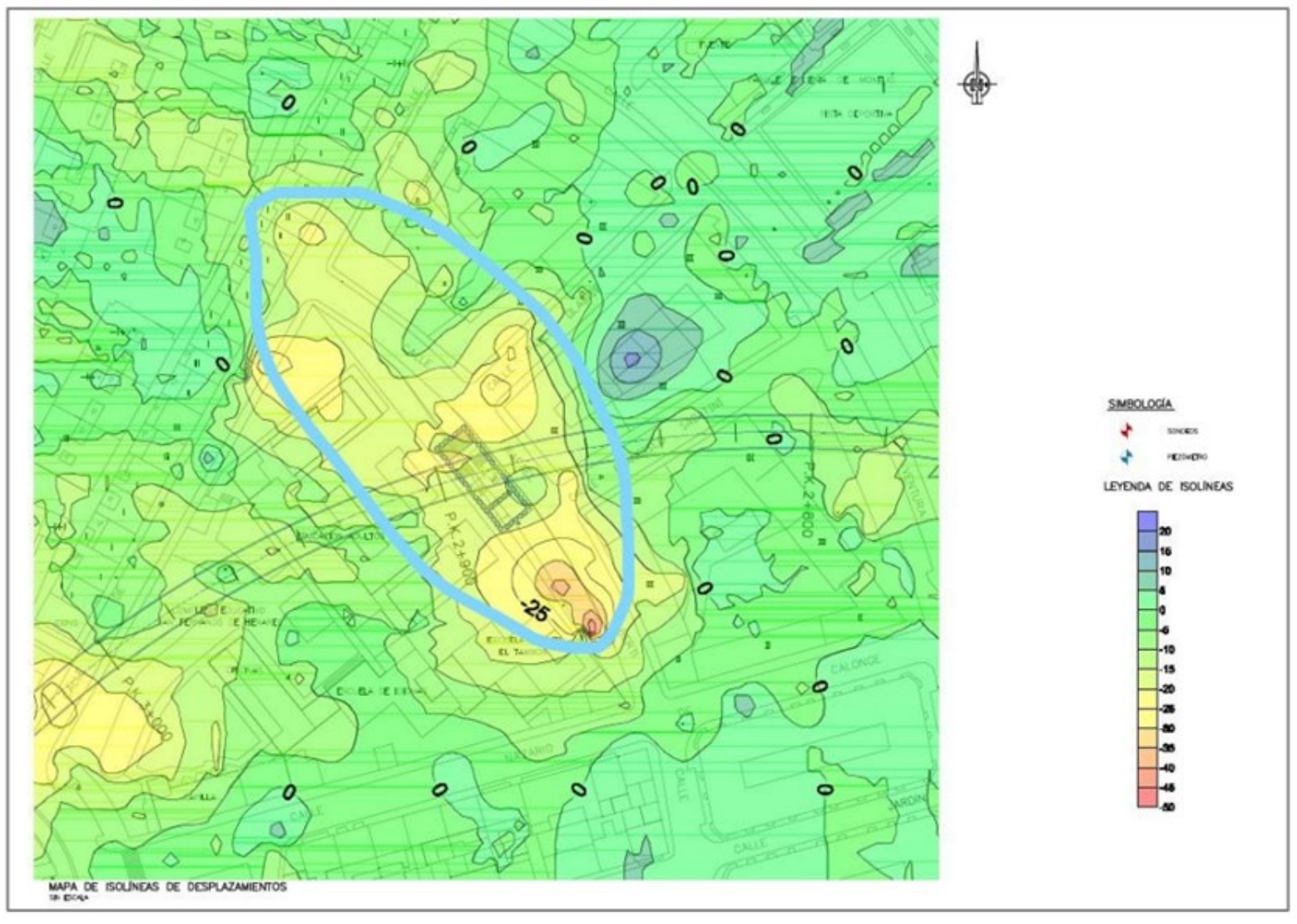


Imagen generada por interferometría radar de apertura sintética (INSAR) que muestra la distribución de asentamientos, concentrados en una superficie de geometría ovalada respecto al pozo de bombeo de la calle Rafael Alberti. La mayor intensidad del asiento tiene lugar en la parte inferior del óvalo, en el lado opuesto de las bombas de achique. Fuente: Informe INGEO Estudio Geológico y Geotécnico de la traza de metro Línea 7b. 1/02/2021 [P49].

Modelo Geológico de INTEMAC (2022)

Informe recopilatorio y de síntesis de datos anteriores, que aporta pocos datos nuevos, aunque si una mejor interpretación de los mismos

Conclusiones:

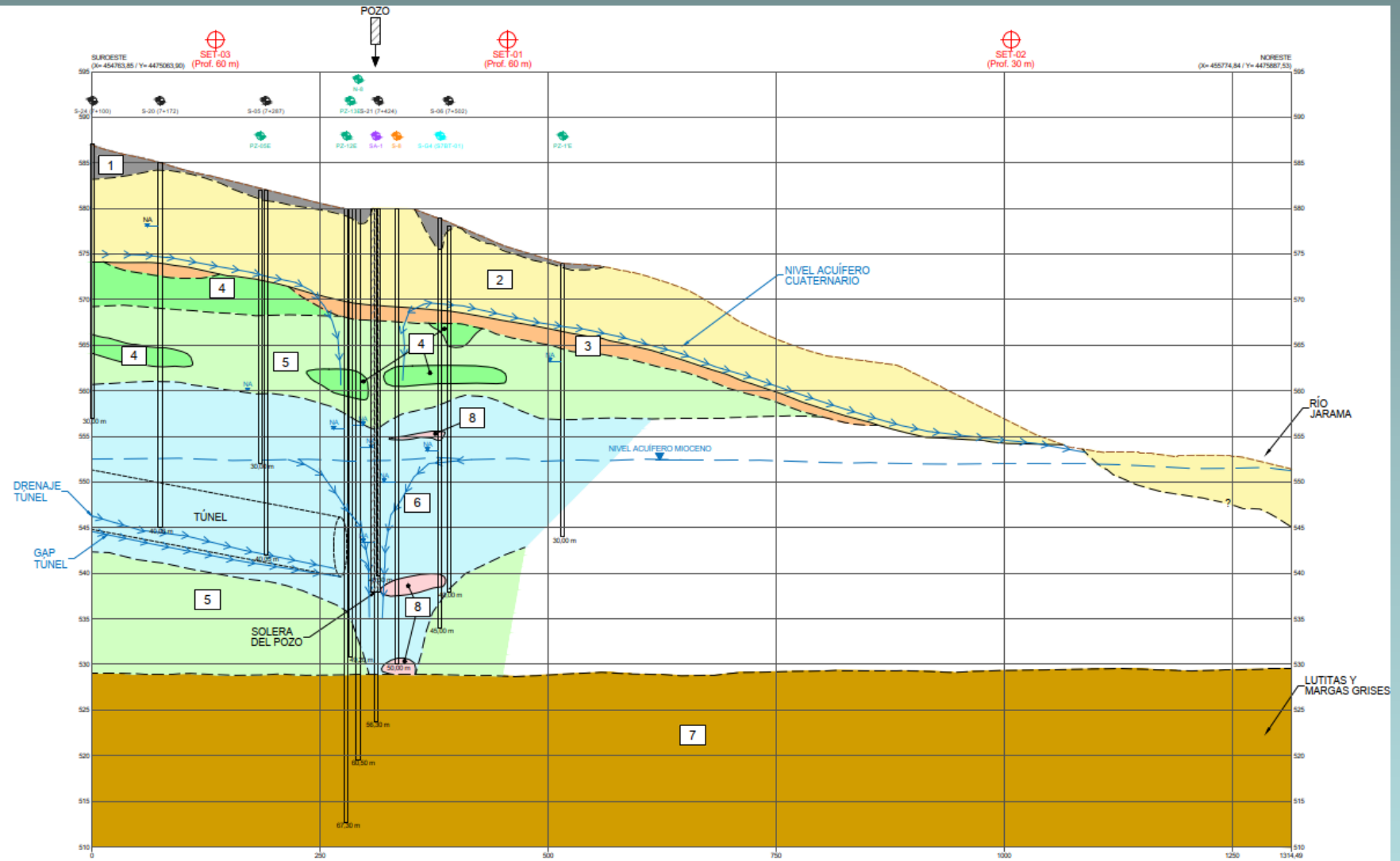
- Hay tres grandes unidades geológicas: **Aluvial del Jarama, Unidad Salina y Sustrato Impermeable**
- Hay dos acuíferos, **no conectados antes de las obras** del Metro: **Acuífero aluvial de agua dulce** y alta permeabilidad, alojado en el Aluvial del Jarama y **Acuífero Salino** alojado en la Unidad Salina, de baja permeabilidad originalmente (el agua se movía muy lentamente). **El acuífero salado se explotó en un pozo de Coslada como agua minero-medicinal hasta mediados del siglo XX**
- **Los dos acuíferos ya no son independientes**, están interconectados verticalmente en la zona del pozo de bombeo, a través de numerosos sondeos de investigación no sellados, así como en las estaciones y por el trasdós del túnel de línea.
- **La entrada de agua dulce en el acuífero salado ha aumentado mucho la permeabilidad de éste**, por disolución de capas de sales que anteriormente eran mineralógicamente estables.

Modelo Geológico de INTEMAC (2022)

Conclusiones (continuación):

- **Se han detectado huecos** de disolución / karstificación **principalmente a tres profundidades 20, 30 y 40 m.** Hay cavidades dispersas a otras cotas, tan profundas incluso como 47 m.
- La bajada de nivel del agua subterránea (depresión piezométrica) producido por el bombeo en el entorno del pozo, indica que **es obvio que se está produciendo circulación de agua y una gran pérdida de material por disolución**

ANÁLISIS 14. NUEVOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS



Modelo Geológico de INTEMAC (2022)

Análisis crítico:

- Es un modelo cualitativo conceptual en 2D, **no sirve para cuantificar**
- No contempla el efecto de la **transformación de la *anhidrita* y la *glauberita* en yeso**
- El registro piezométrico **no discrimina entre acuífero aluvial y acuífero salino**
- **No hay correlaciones entre los procesos observados en superficie (asientos y daños a edificios) y los procesos geológicos** (análisis 3D)

Auscultación 2018-2020

EIS-GUIA-GETINSA-EUROESTUDIOS

Auscultación 2020-2023?

INES-SERGEYCO

Análisis crítico:

- No hubo una **lectura conjunta de solape** entre ambas empresas
- Datos desde diciembre de 2018, por lo que **se desconoce la magnitud real de los asentamientos producidos desde la construcción del metro**
- No se interpretan las observaciones, ni hay recomendaciones para incrementar o disminuir la frecuencia de adquisición de datos, así como para establecer puntos de control adicionales.

ANÁLISIS 17. ESTUDIO DE RIESGOS

Los tres Proyecto de la Línea 7B de metro (de Construcción, Complementario y Modificado) **no incluyen un capítulo o anejo de Análisis de Riesgos como tal**. Hay valoraciones cualitativas sobre

- Presencia de agua
- Estabilidad de la excavación
- Asentamientos y subsidencias debidos a la excavación

Análisis crítico:

En uno de los documentos se admiten las **limitaciones de la metodología empleada para el cálculo de subsidencias**, entre las que se mencionan que **no se tiene en cuenta la estratigrafía real del suelo ni el efecto del nivel freático, así como la subsidencia originada por el drenaje que origina la excavación del túnel**.

En ningún caso se menciona la presencia del **subsuelo salino** como riesgo potencial

Los trabajos de tratamiento para paliar los problemas derivados de la ejecución de la obra del túnel del Metro **no han podido ser revisados en su totalidad ni con los suficientes datos que permitan saber el efecto real de esos tratamientos sobre los hundimientos detectados.** Tampoco parece existir un documento general en el que haga este análisis

2007-2009. Primeras Reparaciones

DRAGADOS, presupuesto de **2.294.311,99€**. Pozo de bombeo, tratamiento **de inyecciones de mortero y lechada de cemento y resina.** Instalación de un **forro interior de chapa de acero** en el pozo de bombeo.

2010-2011. Segundas Reparaciones

DRAGADOS, presupuesto de **1,341.245€**. Calles Pablo Olavide, Rafael Alberti y Francisco Sabatini. Relleno de posibles huecos y zonas blandas, con una **inyección de mortero de hasta 45 metros de profundidad.**

2013-2015 Terceras Reparaciones

OBRAS PUBLICAS SAN EMETERIO. Impermeabilización del túnel de metro

2016-2018 Cuartas Reparaciones

RODIO-KRONSA. Inyecciones

2019-2020 Quintas reparaciones

KELLER CIMENTACIONES. Tratamientos con la agresiva técnica de *jet-grouting*

2021-2023? Sextas reparaciones

RODIO-KRONSA. Tratamiento de hasta 10.000 m² mediante inyecciones por gravedad y a presión de lechada y mortero de cemento

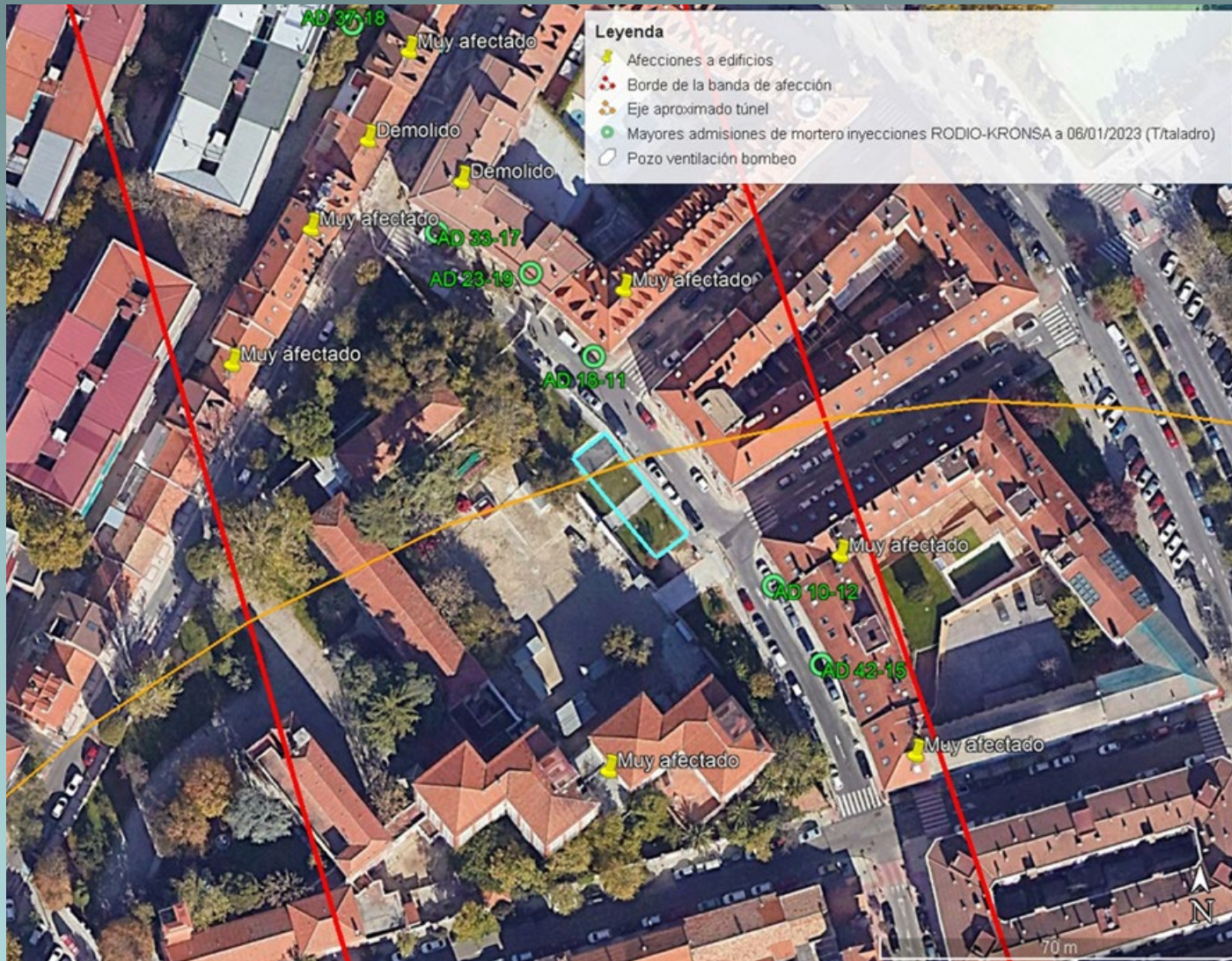
Sextas reparaciones (2021-2023?)

Análisis:

El ICOG dispone de algunos informes aislados de las admisiones de mortero de cemento hechas por RODIO-KRONSA, deduciéndose de ellos:

- **Las admisiones máximas** de 30-48 ton/taladro **se dieron frente a los hitos de nivelación del terreno que acumulan mayor asentamiento:** 325 mm, 306 mm, 131 mm y 44 mm, en el entorno del pozo de ventilación y bombeo
- En el **callejón de Virgen del Puerto, a más de 100 m del pozo**, las admisiones alcanzaron las 37 ton/taladro cerca de un hito de nivelación que acumulaba ya entonces un asentamiento de **640 mm**

OBRAS DE TRATAMIENTO Y REMEDIACIÓN 4



Mayores admisiones de inyección (verde) relacionadas con las afecciones a edificios. Las líneas en color rojo delimitan la zona de máxima afección

Representación de puntos incorporados a la base de datos



Leyenda

Tipos de muestreo

- Extensómetros de varillas
- Sísmica de Refracción
- Tomografía Sísmica
- Tomografía Eléctrica
- MASW
- Piezometro
- Tomografía
- Hitos de nivelación
- Sondeos



**Ilustre Colegio Oficial
de Geólogos**

- **El terreno complicado** de San Fernando de Henares hubiera exigido **un proyecto de construcción adaptado a las condiciones peculiares del subsuelo salino y a la hidrogeología local**, una vez bien conocidas. Es decir, un proyecto **con una atención y carga en Geología e Hidrogeología muy superior a lo habitual**.
- **En los proyectos de construcción no se hizo un análisis de riesgos integral en su dimensión más extensa**, centrándose únicamente en el análisis de subsidencias.
- El **acertado dictamen realizado en 2008** por la UCM-UPM, en el cual se identificó perfectamente la causa del problema, **no parece haberse tenido en consideración hasta 2016**.

- Es inexplicable que los técnicos de MINTRA y de la Comunidad de Madrid, no se percataron aparentemente, o no transmitieron, que se hallaban ante un **problema geológico muy grave**
- No fue hasta **la sentencia** dictada por el Tribunal Superior de Justicia de Madrid en **enero de 2019 cuando finalmente se demostró que la responsabilidad de los daños causados es exclusivamente de la Comunidad Autónoma de Madrid**
- Multitud de empresas y organismos han participado en los proyectos y estudios (EUROESTUDIOS, INTECSA-INARSA, CEDEX, USAC, GEOCISA, MAYO GEOTECNIA, INES, TRAGSA, INTEMAC,) lo cual **ha producido gran dispersión de información, de métodos de trabajo, de calidad de los estudios** (algunos de ellos realmente muy deficientes), **de continuidad e interrelación de unos con otros**

- **La mayoría de los estudios geológicos e hidrogeológicos, han sido hechos como anexos o apéndices de proyectos de reparaciones, dotados tales anexos de presupuestos bajos y con periodos de ejecución insuficientes**
- **El Modelo Geológico de 2022, está bien encaminado desde el punto de vista conceptual,** pero con la limitación de que es el resultado de un **análisis en dos dimensiones,** que se plasma en un **perfil geológico e hidrogeológico esquemático y cualitativo,** realizado a partir de datos que mayoritariamente se sitúan según el trazado de la línea; los datos más antiguos (10, 15 e incluso 20 años) pueden no ser ya válidos.

- El paso que hasta ahora no se ha dado es **realizar, separado totalmente cualquier otro proyecto o contrato, un Estudio Geológico, Hidrogeológico e Hidroquímico de detalle**, investigando el subsuelo mediante una **red amplia de sondeos y piezómetros puntuales fuera de traza** (alejados del túnel) que, con el apoyo de otras técnicas, permitiría conocer en 3D la Geología y, a continuación, **hacer un modelo hidrogeológico del flujo subterráneo calibrado con datos de piezometría, hidroquímica y caudales bombeados**

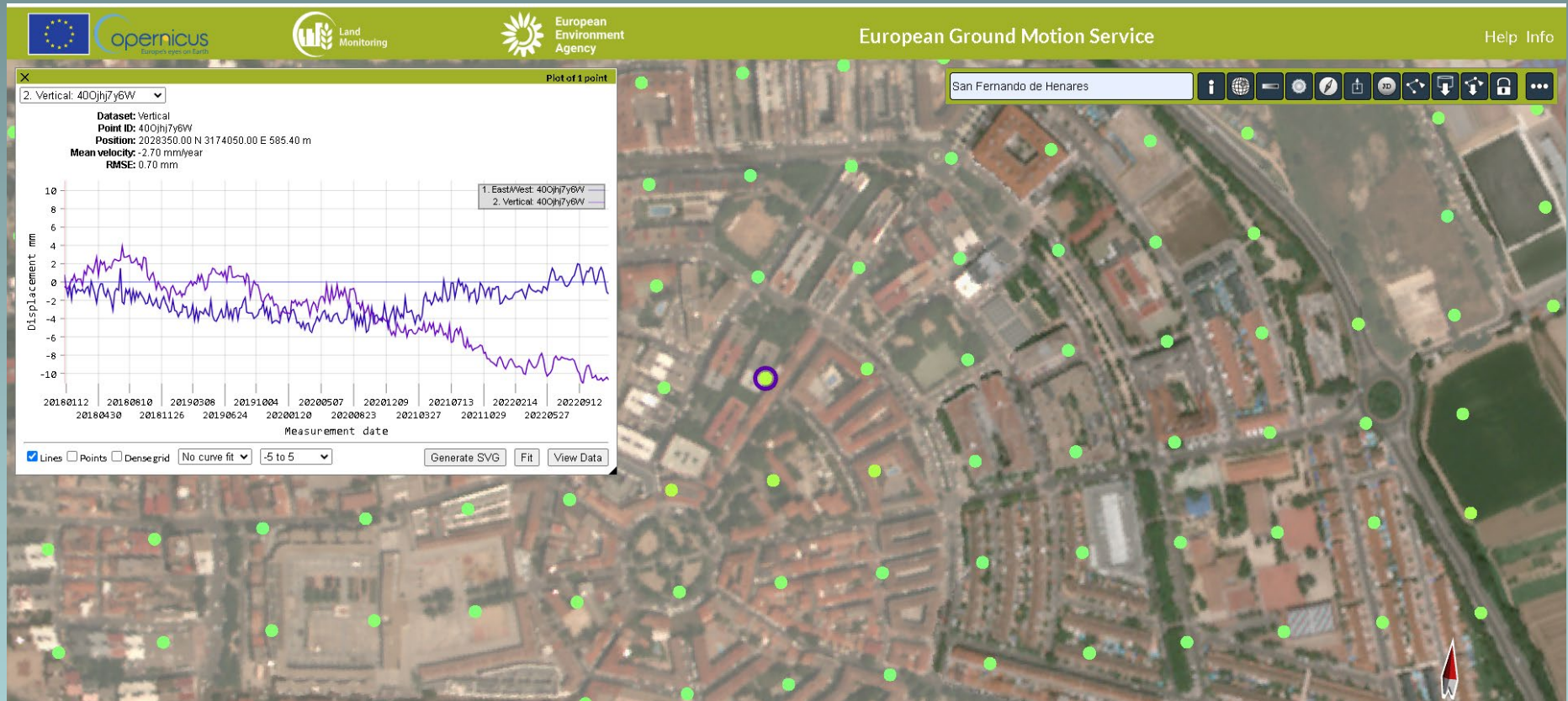


Imagen del satellite Copernicus (Servicio Europeo de Movimientos del Terreno). Cruce de la c/La Presa y c/Rafael Alberti. 2018-2022. En ese punto el hundimiento del terreno alcanzó los 10 mm en mayo del 2022.

- **Se propone la realización de un completo estudio geológico espacial y de detalle y la subsiguiente construcción de un Modelo Geológico e Hidrogeológico, predictivo y tridimensional**
- Ello será la base de partida para el **diseño de soluciones constructivas factibles, eficaces y duraderas**; o bien para arbitrar otro tipo de medidas paliativas, si aquellas fueran excesivamente costosas.
- La alternativa al Modelo Geológico e Hidrogeológico propuesto **es seguir ejecutando y ensayando diferentes y onerosas soluciones técnicas** -hasta ahora principalmente inyecciones de lechada y mortero de cemento en el terreno-, **comprobando a posteriori en superficie su eficacia** (o ineficacia), **pero sin previsión alguna de futuro**

- Se puede argumentar que los **problemas son urgentes y que exigen solución inmediata**. Eso es cierto. Pero no es menos cierto que **no se puede diseñar una solución constructiva eficaz sin conocer a fondo, en tres dimensiones, y diagnosticar el proceso geológico que está ocurriendo en el subsuelo de San Fernando de Henares**



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS DE ESPAÑA

iGracias por su atención!

