

JORNADA TÉCNICA SOBRE EL ESTADO DE IMPLANTACIÓN
DEL PLAN DE ACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

Emulador de Deep Learning para predecir la piezometría en
la cuenca del Duero

Héctor Aguilera Alonso
Científico Titular, IGME-CSIC



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



IGME

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Introducción: desafíos hídricos

- Adaptarse a escenarios cambiantes: nuevas prácticas agrícolas, demandas variables, regadío solar, efectos del cambio climático.
- Mejorar la eficiencia en el uso de los recursos para satisfacer de forma sostenible las demandas crecientes.
- Implementar un seguimiento de las aguas subterráneas en tiempo real.



GEMELO DIGITAL SUBTERRÁNEO



Introducción: modelos gran escala

communications earth & environment

Article

A Nature Portfolio journal

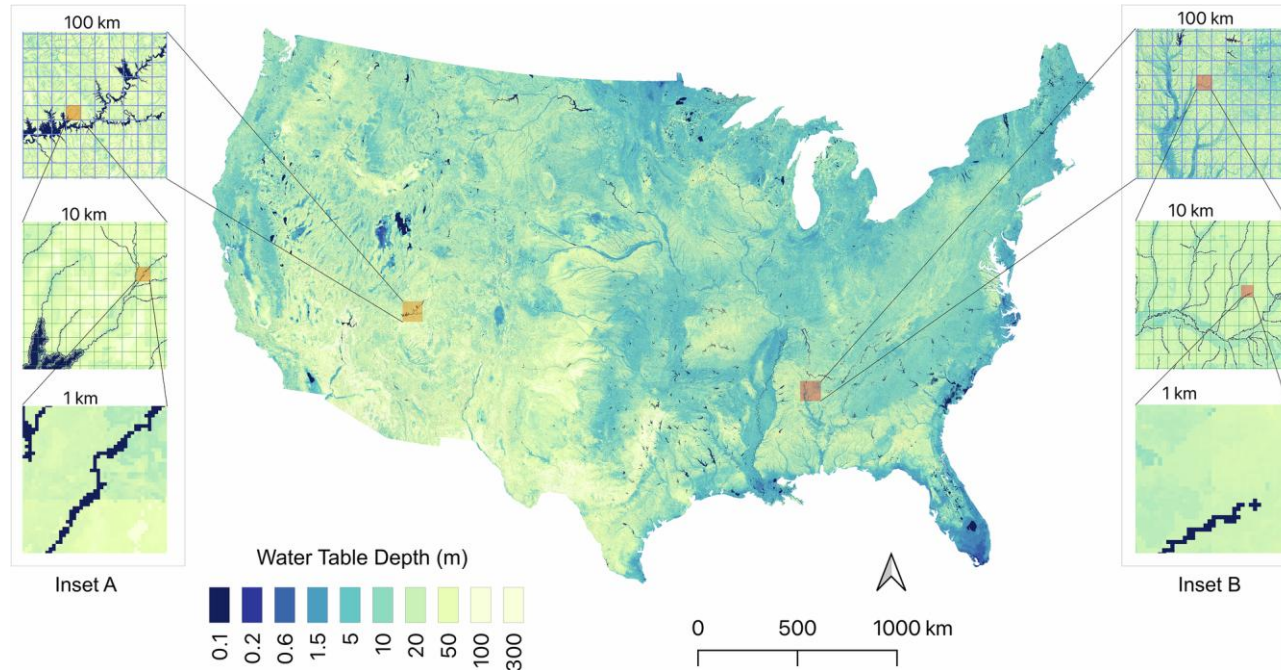


<https://doi.org/10.1038/s43247-025-0094-3>

High resolution US water table depth estimates reveal quantity of accessible groundwater

Check for updates

Yueling Ma¹, Laura E. Condon^{1,2}, Julian Koch³, Andrew Bennett⁴, Amy Dethert⁵, Danielle Tijerina-Kreuzer⁶, Peter Melchior⁷ & Reed M. Maxwell^{1,8}✉

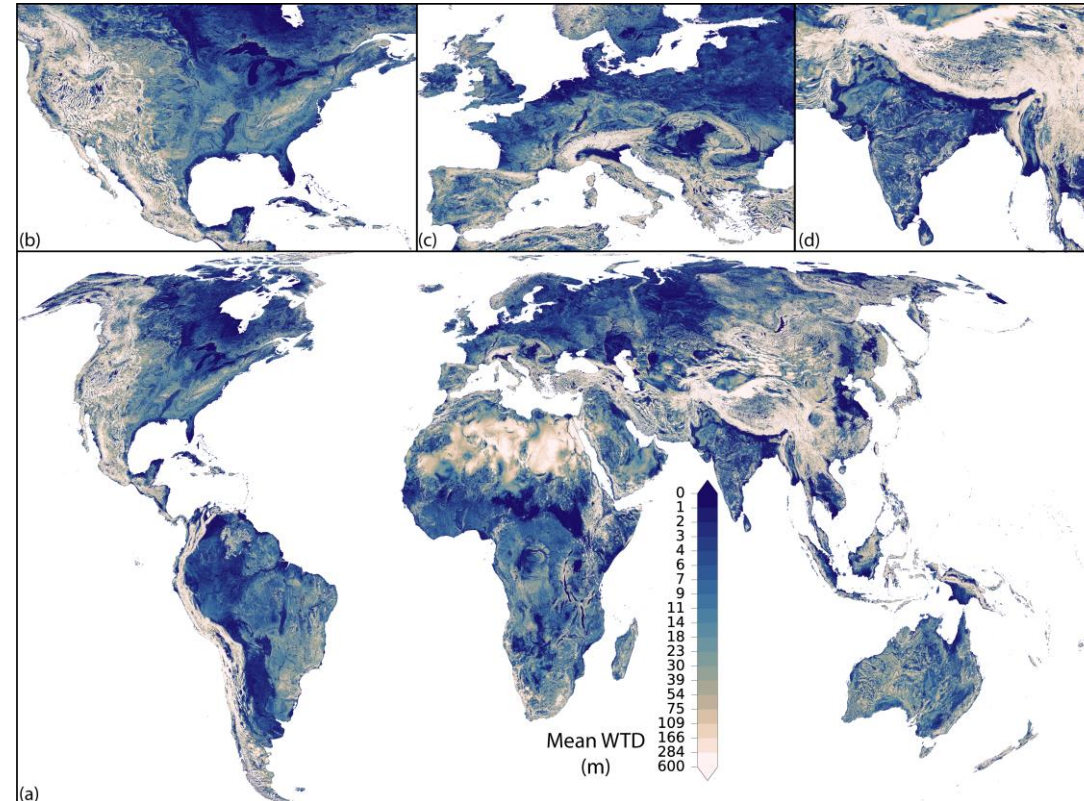


<https://doi.org/10.5194/egusphere-2026-804>
Preprint. Discussion started: 20 March 2026
© Author(s) 2026. CC BY 4.0 License.



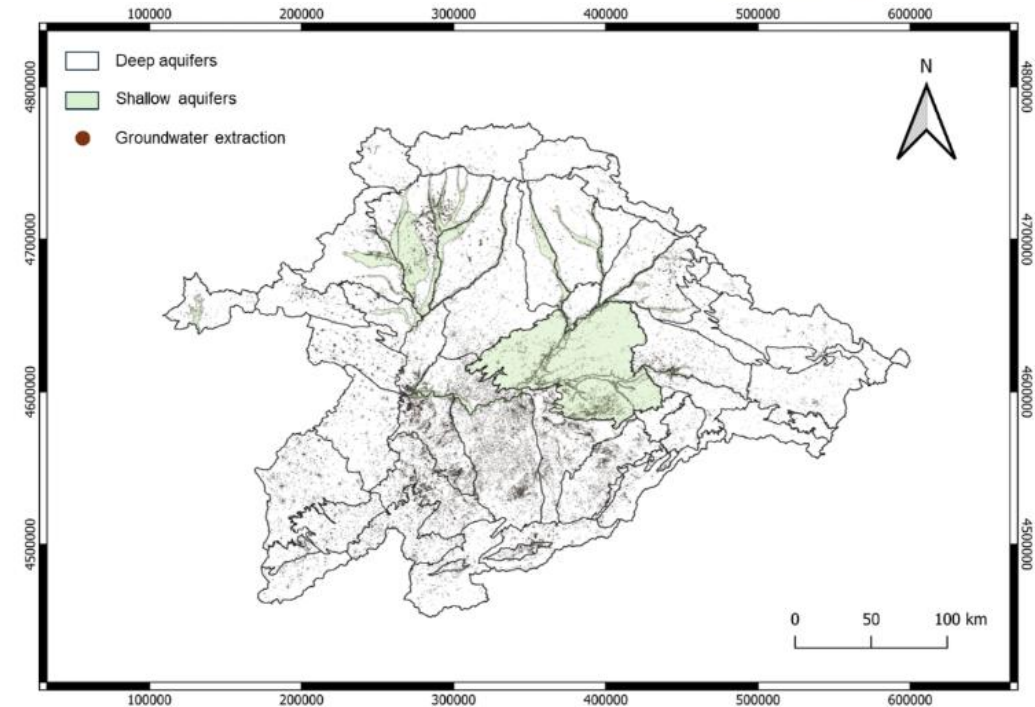
Global hyper-resolution modeling of historical and future groundwater dynamics

Barry van Jaarsveld¹, Niko Wanders¹, Nicole Gyakowah Otoo¹, Edwin H. Sutandjaja¹, Jarno Verkaik², Daniel Zamrsky^{1,3}, and Marc F.P. Bierkens¹

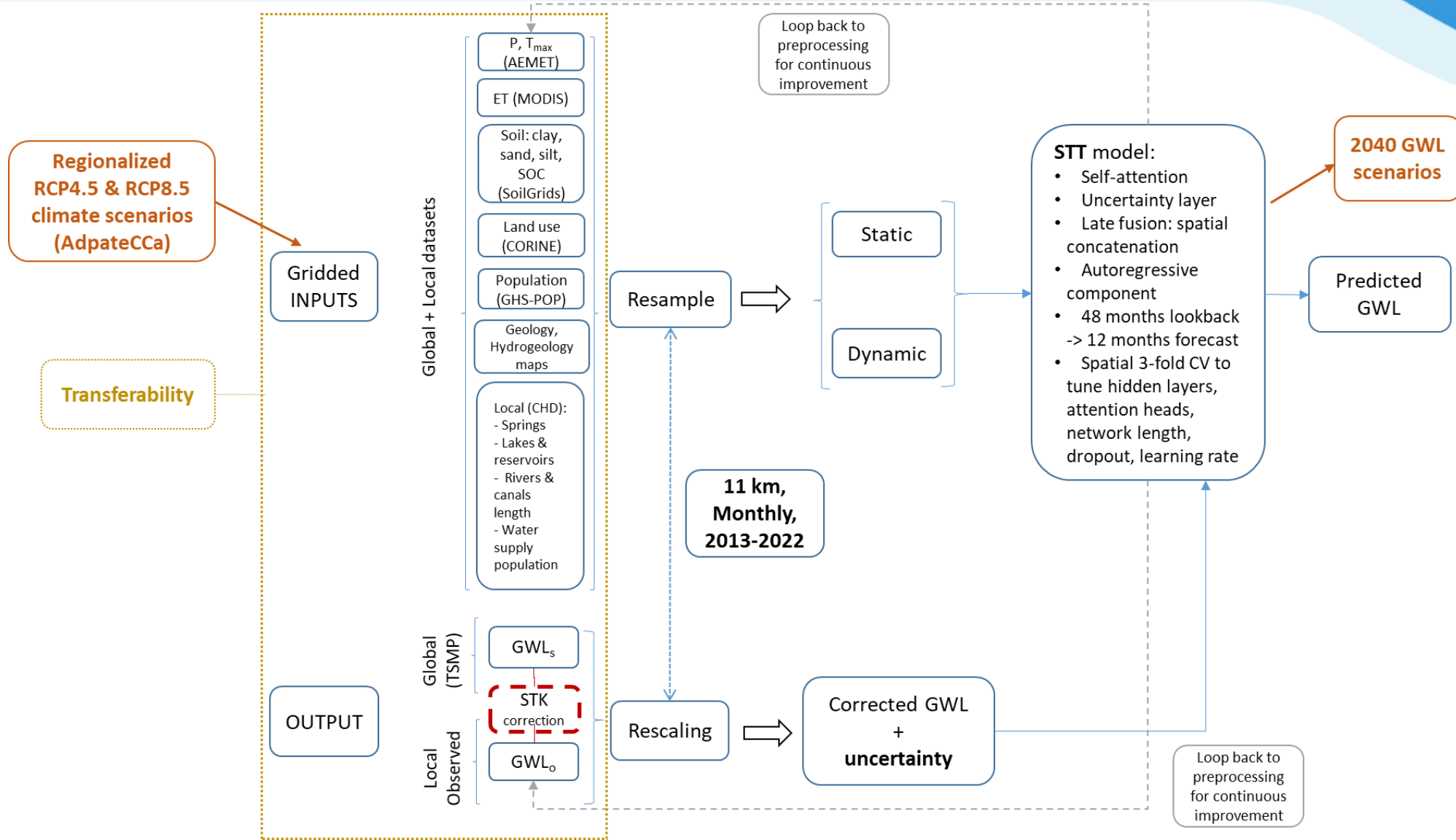


Objetivos

- Modelo espacio-temporal basado en IA para predecir la piezometría a escala de Cuenca del Duero (caso piloto)
- Hacer que la configuración del modelo sea transferible a otras cuencas.
- Simular escenarios de cambio climático para los recursos hídricos futuros.

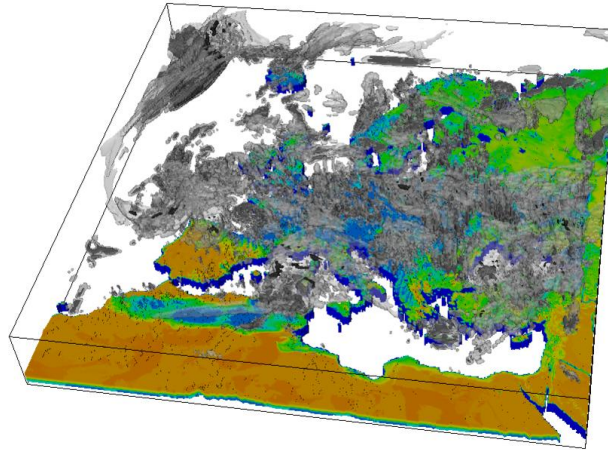
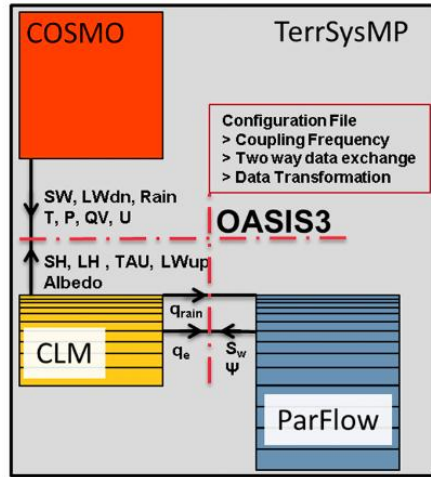


Flujo de trabajo



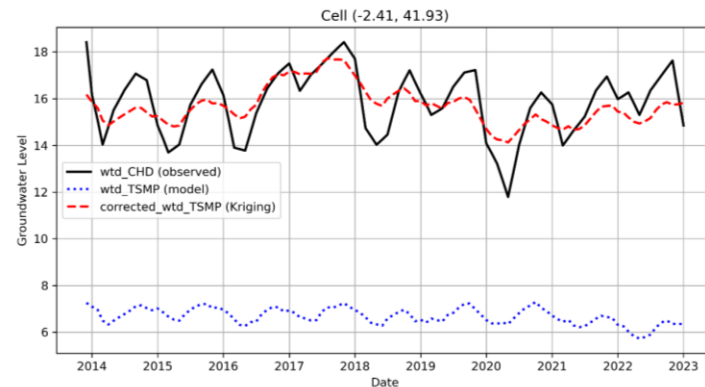
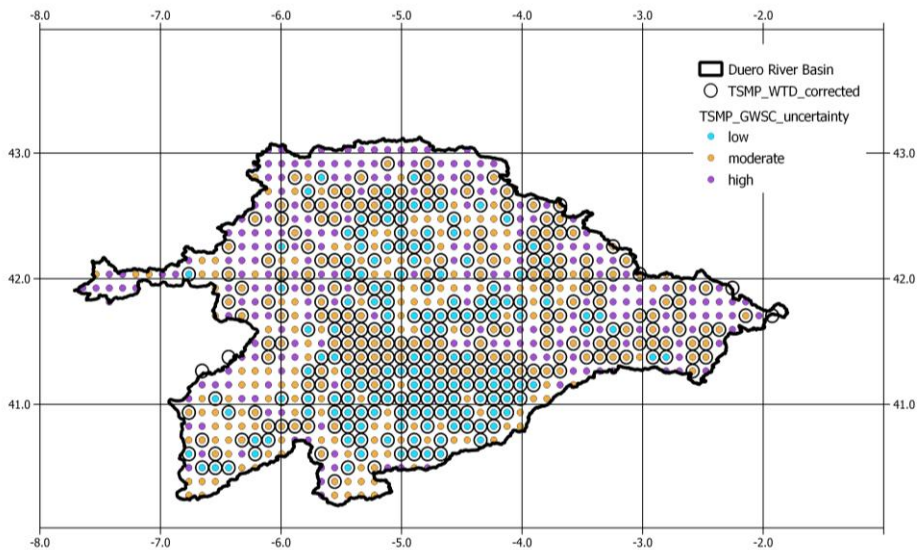
Flujo de trabajo: corrección niveles

Modelo europeo
TSMP

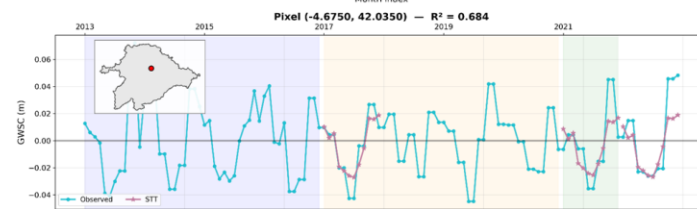
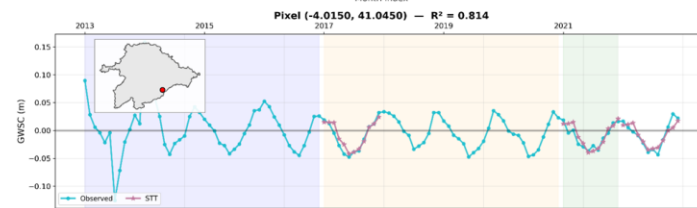
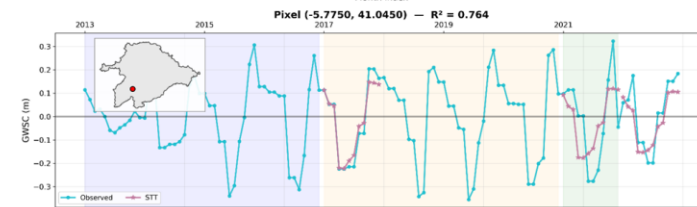
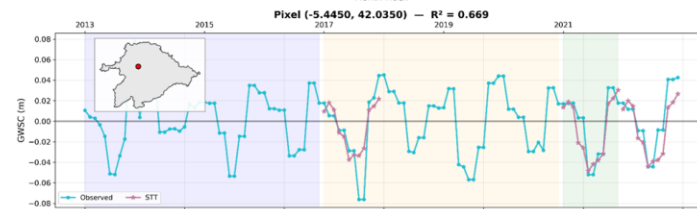
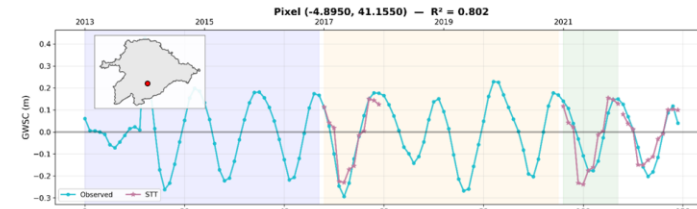
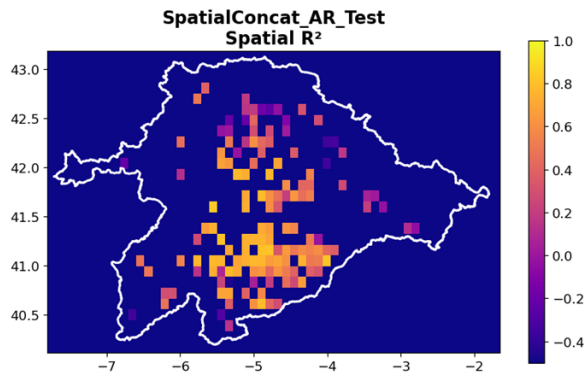
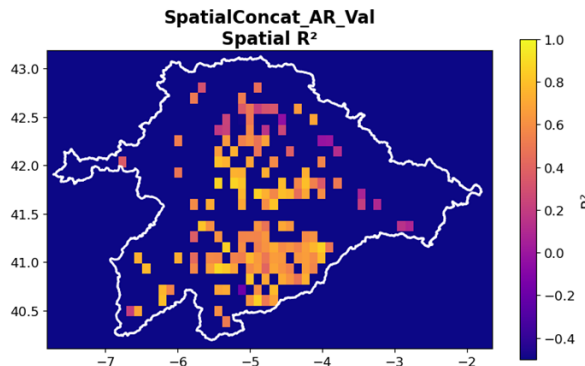
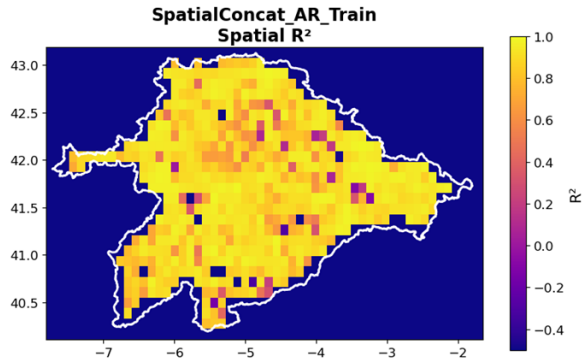


Kriging espacio-temporal

$$GWL_{s(corrected)}(s, t) = \overline{GWL}_s^B(t) + \sum_{i=1}^N w_i^{ST}(s, t) [GWL_o(s_i, t_i) - GWL_s(s_i, t_i)]$$



Resultados preliminares: modelo STT



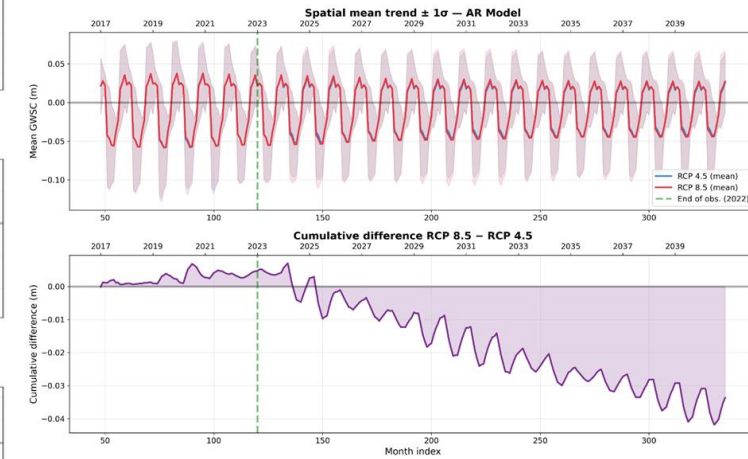
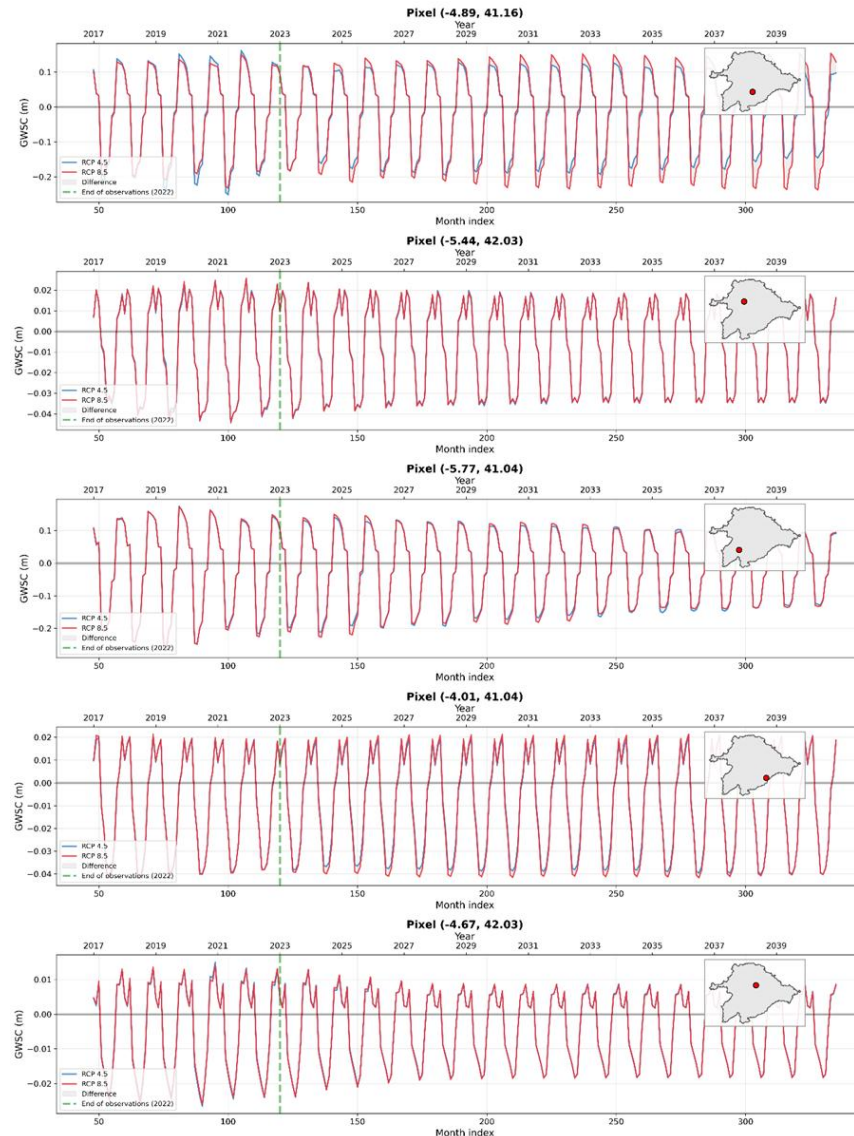
	Train (2013-2016) -> 2017	Val. (2017-2020) -> 2021	Test (2021) -> 2022
MSE	4.0e-4	1.7e-3	2.2e-3
MAE	0.013	0.025	0.031
R ²	0.886	0.576	0.556

Top 10 feature importance Permutation-based - STT model

#	TYPE	FEATURE	SCORE
1	AR	GWSC history (AR)	2.3514
2	Spatial	Coordinates (X, Y)	1.0329
3	Dynamic	Uncertainty: low	0.1013
4	Dynamic	CORINE 2nd class	0.0967
5	Dynamic	CORINE 1st class	0.0863
6	Dynamic	Uncertainty: moderate	0.0646
7	Dynamic	GHS-POP	0.0510
8	Dynamic	Uncertainty: high	0.0413
9	Static	Population (water supply)	0.0385
10	Static	Soil organic carbon	0.0363

Resultados preliminares: escenarios

- Escenarios climáticos 2013–2040 (AdpateCCa): RCP4.5 y RCP8.5 a partir de tres miembros EURO-CORDEX CMIP5.
- Reducción progresiva de los niveles medios, con magnitud del impacto sensible a la trayectoria de emisiones.



Conclusiones

- Modelo subrogado basado en un Transformer Espaciotemporal para predecir nivel de aguas subterráneas en la Cuenca del Duero.
- Combina simulaciones de modelo TSMP con observaciones in situ mediante kriging (asimilación de datos), y datos raster estáticos/dinámicos.
- Proporciona predicciones regionales precisas e interpretables para una gestión sostenible de las aguas subterráneas.
- Diseñado para ser transferible y adaptable a otras cuencas.

Próximos pasos

- Incorporación datos distribuidos de demandas.
- Incorporación de datos de piezometría de alta resolución de la red automática.
- Cuantificación de la incertidumbre.
- Simulación de escenarios climáticos + gestión.
- Pruebas de transferibilidad y despliegue operacional.

MUCHAS GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

h.aguilera@igme.es