

LA RECARGA GESTIONADA DE LOS ACUÍFEROS (M.A.R.) COMO UNA TÉCNICA POLIVALENTE Y EFECTIVA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



Enrique Fernández Escalante (Tragsa-PTEA)¹
Jon San Sebastián Sauto (Tragsatec)²
María Villanueva Lago (Tragsatec)³
Rodrigo Calero Gil (Tragsa)⁴

¹Doctor en Hidrogeología. Tragsa I+D+i. Maldonado 58. 28006. Madrid. efernand@tragsa.es
²Doctor en Biología. Tragsatec. Julián Camarillo 6b. 28037. Madrid. jss@tragsa.es
³Ingeniero Agrónomo. Tragsatec. Julián Camarillo 6b. 28037. Madrid. mvillan2@tragsa.es
⁴Ingeniero agrónomo. Tragsa I+D+i. Maldonado 58. 28006. Madrid. rcalero@tragsa.es

INTRODUCCIÓN

La recarga gestionada de acuíferos, también llamada artificial o simplemente, MAR por sus siglas en inglés, constituye uno de los grupos de medidas de gestión hídrica para el combate frontal a los efectos adversos del cambio climático. Esta afirmación no es gratuita, y en este artículo se justifica que la técnica MAR, combinada con otras medidas relativas a la gestión integral de los recursos hídricos o IWRM, tiene un alto potencial en la adaptación y mitigación del cambio climático (CC).

Algunos de los sistemas de mayor éxito, tales como los mecanismos de “detención-infiltración”, permiten parar y retener el agua de las inundaciones y recargar intencionadamente los acuíferos, almacenando una fracción de tal volumen. Estos sistemas han estado presentes en España desde tiempos ancestrales y permiten reducir el caudal punta de una inundación, aumentando el tiempo de concentración y disminuyendo su efecto catastrófico.

Las principales manifestaciones del CC contempladas en este artículo y en las cuales puede incidir la técnica MAR son el aumento de la temperatura, la variación en la concentración de las precipitaciones anuales, la mayor ocurrencia de fenómenos extremos y el aumento del nivel marino. Los principales problemas e impactos fruto del cambio climático estudiados son el aumento de la evaporación y evapotranspiración en las nuevas condiciones ambientales, una mayor demanda hídrica, mayor riesgo de incendio, reducción de la oferta hídrica y garantía de suministro en determinados lugares, extremismo en la escorrentía, afecciones a los humedales y menor producción de energía hidroeléctrica, con un efecto directo en el precio de la electricidad.

OBJETIVOS

El objetivo principal es justificar adecuadamente que la recarga gestionada de los acuíferos, también conocida como recarga artificial o MAR (Managed Aquifer Recharge) es una técnica polivalente y efectiva de adaptación al cambio climático. Se estudiarán casos de éxito con resultados cuantitativos de todo el planeta, cuyo análisis e indicadores permitirán apoyar o convalidar su aplicación.

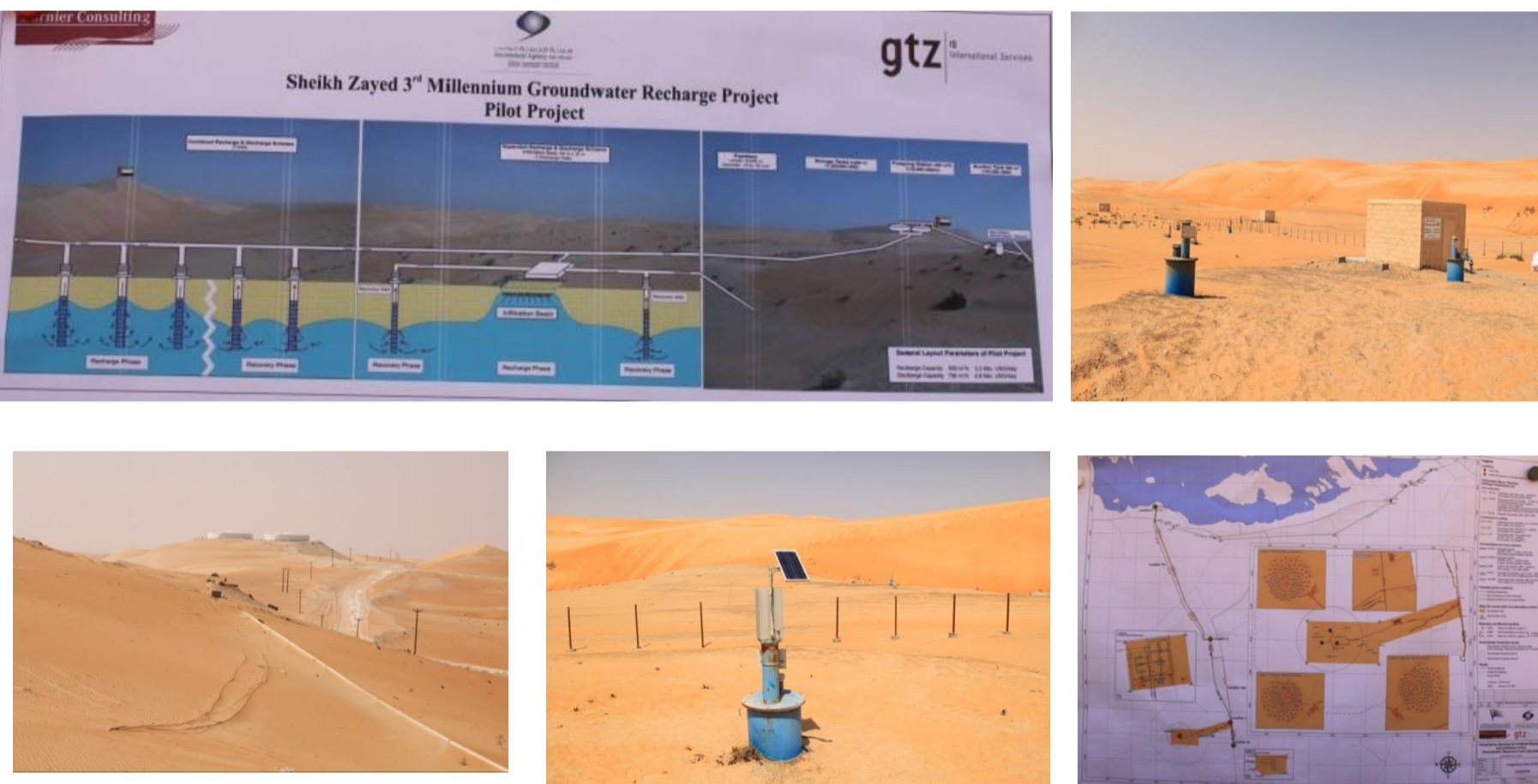
LÍNEAS DE ACCIÓN

MAR como medida de adaptación al cambio climático

	EFFECTOS CC	PROBLEMAS/IMPACTOS CC	SOLUCIONES MAR
1	TEMPERATURA MEDIA	Evaporación	Almacén subterráneo
2	PRECIPITACIONES ANUALES (esp. invernales)	ETP	Humedad edáfica/ascenso nivel freático
3	FENÓMENOS EXTREMOS	Demanda hídrica	Infiltración aguas regeneradas
4	NIVEL MARINO	Riesgo incendio	Infiltración puntual/dirigida
		Oferta hídrica	Autodepuración / Re-infiltración / Reuso
		Escorrentía	Almacén fuera de ribera/SUDS
		Humedales	Restauración/regeneración
		Energía hidroeléctrica	Distribución por gravedad
		Avenidas / inundaciones	Infiltración de excedentes/ MDTR/SUDS
		Sequías	Gestión plurianual/reservas
		Intrusión marina	Barrera hidráulica positiva

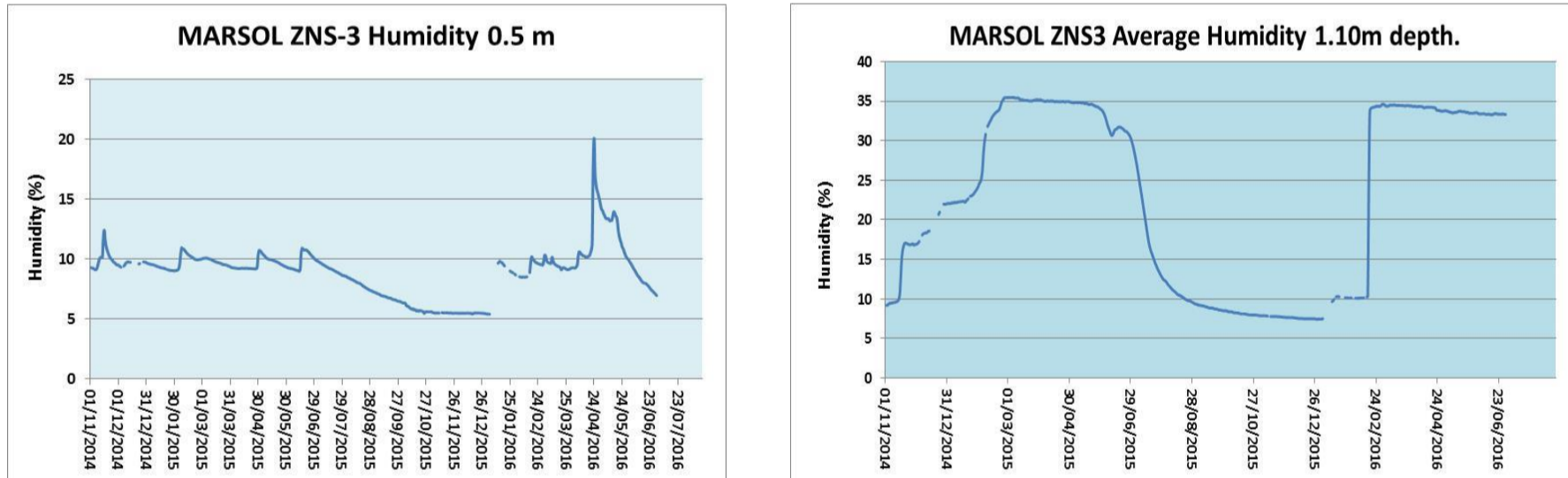
1 TEMPERATURA

ALMACÉN SUBTERRÁNEO



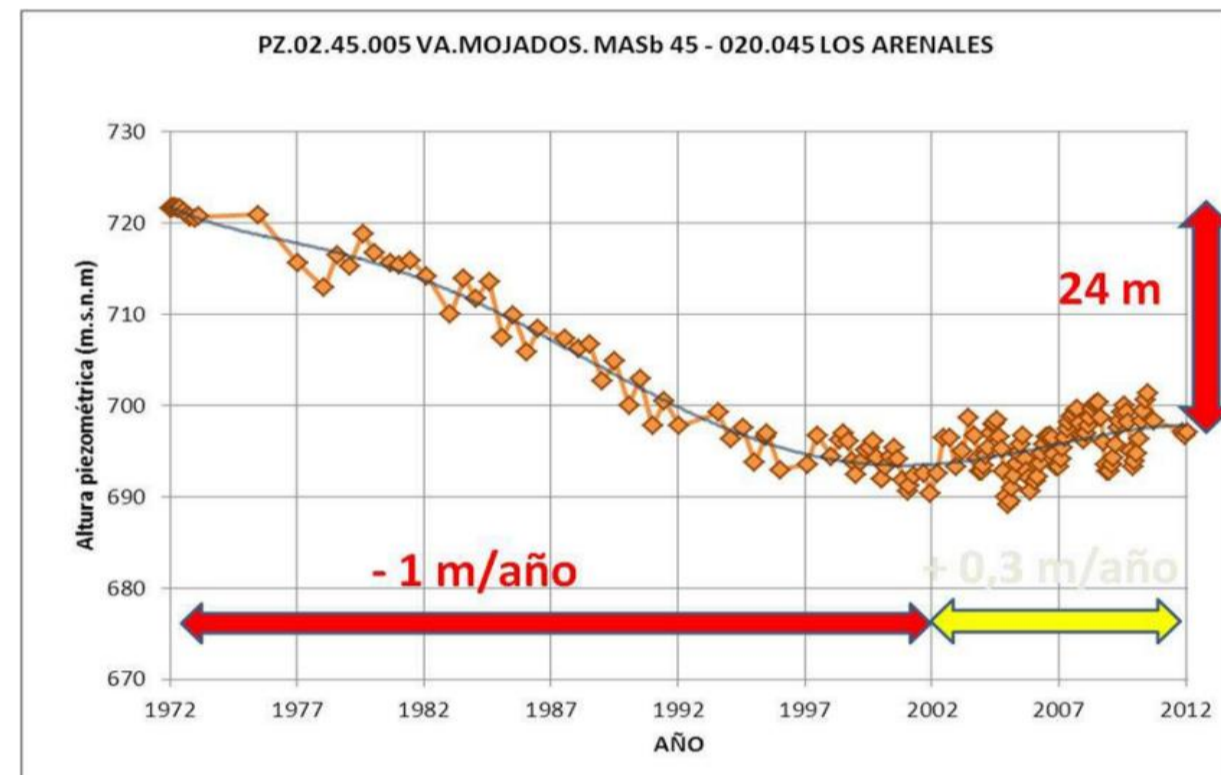
Almacenamientos profundos de agua como reservorio estratégico para ser utilizado en situaciones de emergencia. E.g. Abu Dabi (EMIRATOS ÁRABES UNIDOS). Reservas estratégicas adicionales cifradas en 26 hm³/año con 300 pozos de inyección.

REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUBSUELO X AUMENTO HUMEDAD



Aumento de la humedad edáfica (10-20%) y de la Zona no Saturada (10-40%) en el medio receptor. Mayores facilidades para el asentamiento de vegetación. Datos tomados en las estaciones MARSOL ZNS de Los Arenales, Castilla y León (tomado de MARSOL, 2016).

EVOLUCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO REGIONAL



Evolución del nivel del agua (+0,3 m/año) en el Acuífero Los Arenales, Castilla y León (Del Barrio, 2014).

AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA GRACIAS A LA RECARGA ARTIFICIAL

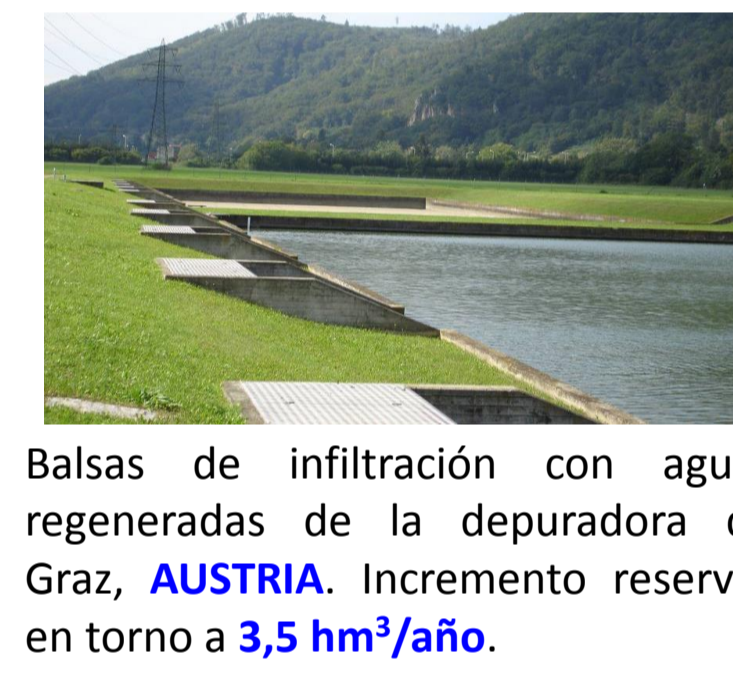
El seguimiento de los costes de bombeo este Living Lab para las 314 unidades en explotación inventariadas en El Carracillo (Castilla y León), contando con un bombeo medio de 9,957 m³ por pozo y año, y el ascenso del nivel freático medio desde una profundidad cercana a la 6,30 m hasta los 4,00 m después de varios ciclos de recarga artificial, representa un ascenso de +2.30 m

	Before MAR	After MAR
Energy consumption (KW-h)	76,430	48,430
Energy cost (€/year)	8,180	5,180
Energy savings of 36%		

Volumen de CO₂ emitido rebajado en 10780 Kg CO₂ eq

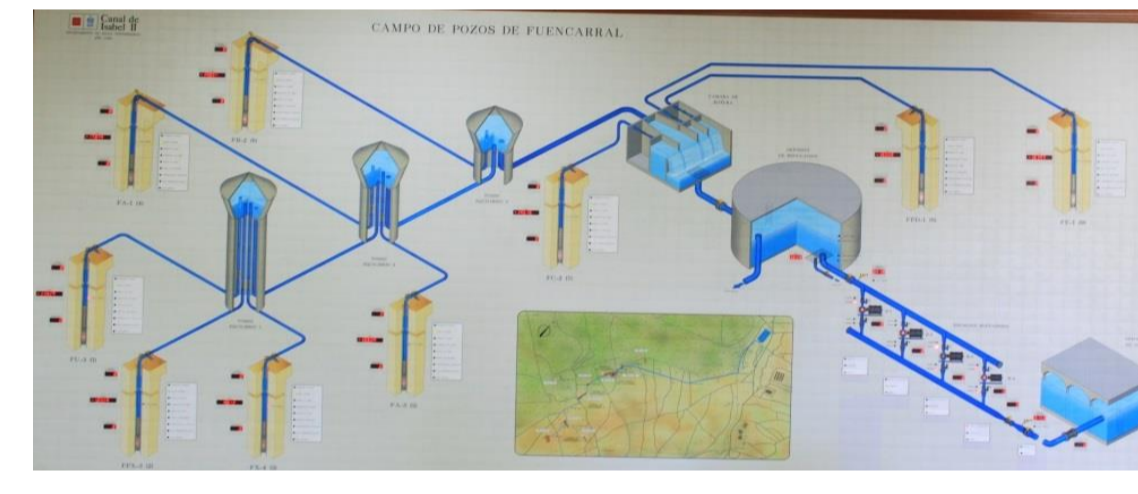
2 PRECIPITACIÓN

INFILTRACIÓN DE AGUAS REGENERADAS PARA LA RECARGA DEL ACUÍFERO. REUTILIZACIÓN-ECONOMÍA CIRCULAR



Balsas de infiltración con aguas regeneradas de la depuradora de Graz, AUSTRIA. Incremento reservas en torno a 3,5 hm³/año.

INFILTRACIÓN PUNTUAL



Estas baterías de sondeos son empleadas en situaciones de sequía prolongada para el abastecimiento de la capital. El sistema constituye un almacenamiento que incrementa la garantía de suministro en la ciudad de Madrid. Incremento de las reservas cercano a 5 hm³/año.



Sondeos de infiltración perforados en el interior de pozas de decantación e infiltración. Las aguas fueron inicialmente derivadas del río Helmand en situación excedentaria. Kabul, AFGANISTÁN, foto por cortesía de Landell & Mills

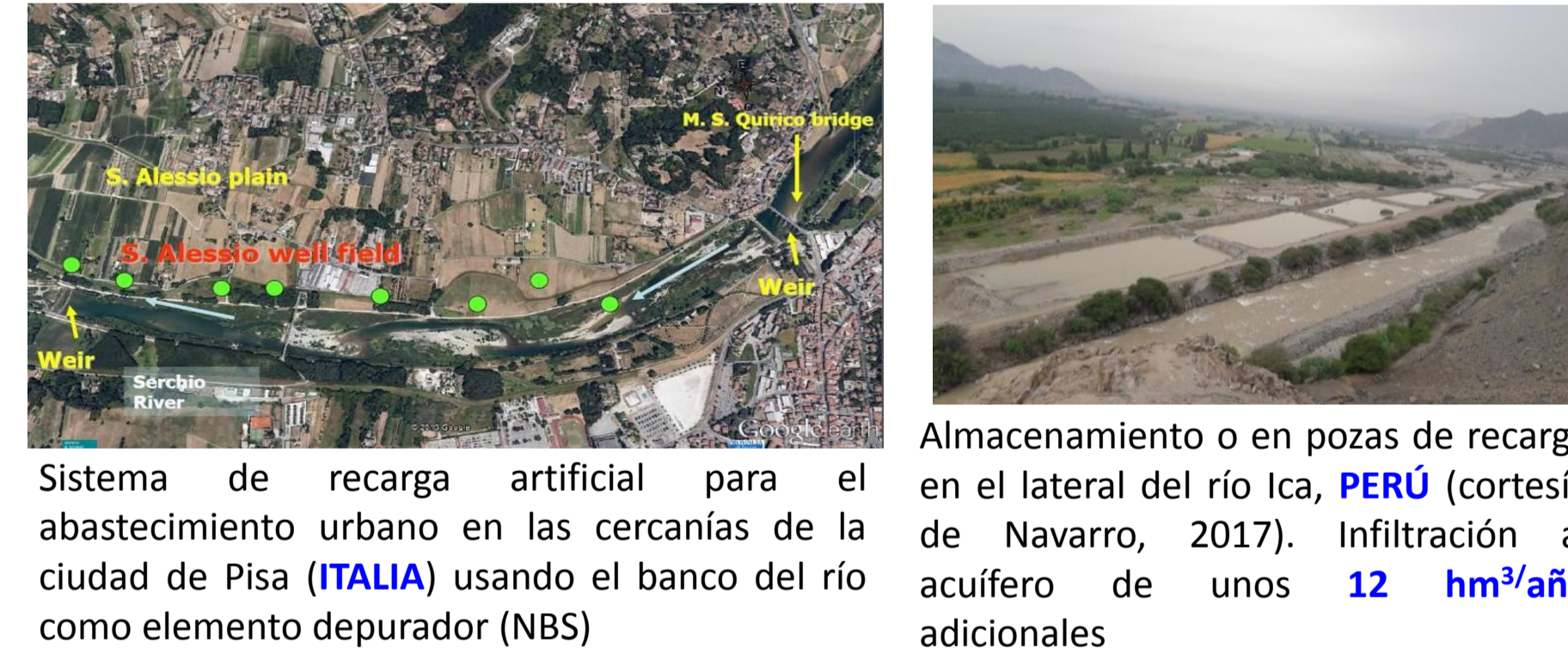
INFILTRACIÓN DIRIGIDA / SEGURIDAD FRENTE A AVENIDAS



Sondeo profundo de investigación “Arnachos” de la Balsa del Campo (Chullilla), Valencia (UTM 685744/4391256) junto a una balsa de regadío como elemento de seguridad y de recarga. Fotos por cortesía de J.M. Montes. Volumen detraído de avenidas de 0,05 hm³.

Balsas de infiltración con aguas regeneradas para la recarga intencionada del acuífero en Menashe, ISRAEL.

ALMACÉN DE AGUA FUERA DE LA RIBERA



Sistema de recarga artificial para el abastecimiento urbano en las cercanías de la ciudad de Pisa (ITALIA) usando el banco del río como elemento depurador (NBS)



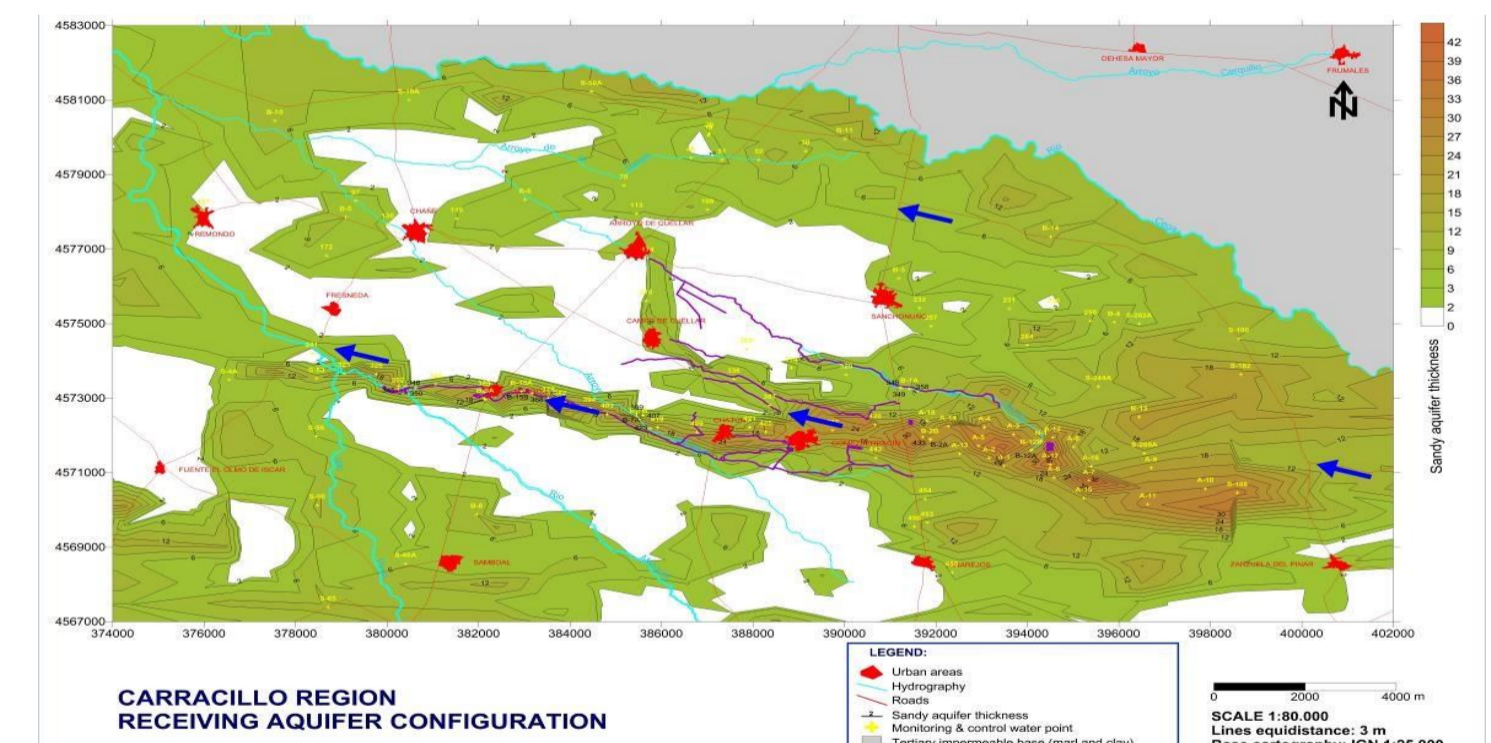
Almacenamiento o en pozas de recarga en el lateral del río Ica, PERU (cortesía de Navarro, 2017). Infiltración al acuífero de unos 12 hm³/año adicionales

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)



Sistema urbano de drenaje sostenible para incrementar la infiltración de agua en la ciudad mediante humedales artificiales urbanos. Adelaide, AUSTRALIA

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POR GRAVEDAD DENTRO DEL ACUÍFERO



Cartografía con la configuración del acuífero del Carracillo y su funcionamiento. El volumen del agua de recarga en la zona de cabecera (Este) se dirige de manera natural a través del acuífero hasta la descarga en el río Pirón (Oeste), y puede ser interceptada durante todo el circuito por los pozos de riego, evitando así el tendido de tuberías. El Carracillo, Castilla y León.

INFILTRACIÓN DIRIGIDA POR APROVECHAMIENTO DE VÍAS DE COMUNICACIÓN



Empleo del talud de una carretera y de una vía del tren como trampa para la escorrentía. Los sedimentos son retenidos en cubetas de hormigón y el agua es conducida al canal de recarga artificial de la cubeta de Santiuste (Segovia)

3 FENÓMENOS EXTREMOS

RESTAURACIÓN/REGENERACIÓN DE ECOSISTEMAS



Regeneración hídrica de un humedal mediante acciones de recarga artificial con pozos que alimentan su sustrato en las inmediaciones de Phoenix, Arizona (EEUU). La recarga natural se incrementa en torno al 18% anual.

INFILTRACIÓN DE EXCEDENTES/ MECANISMOS DE DETENCIÓN Y RETENCIÓN-INFILTRACIÓN



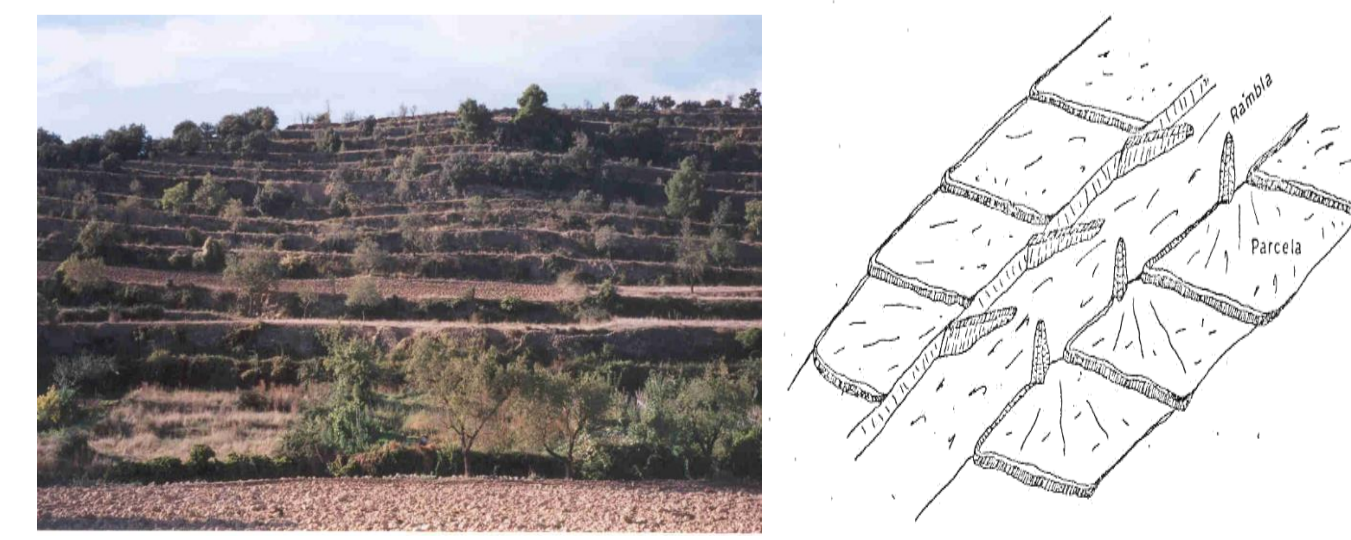
Dique en cabecera de Cuenca para la retención e infiltración de aguas torrenciales en situación de avenida. Las Palmas (izda). Check dam en Zarzis, TÚNEZ (dcha).

ALMACENAMIENTO EN EL SUBÁLVEO



Diques transversales para retener la escorrentía subterránea a través del subálveo de un cauce fluvial, como almacén para abastecimiento. La medida reduce además la temperatura del subsuelo del aluvión. Dique de laminación y recarga en Alicante (izda) y Sand dam en KENIA (dcha). Capacidad de almacenamiento en torno a 1 Dm³

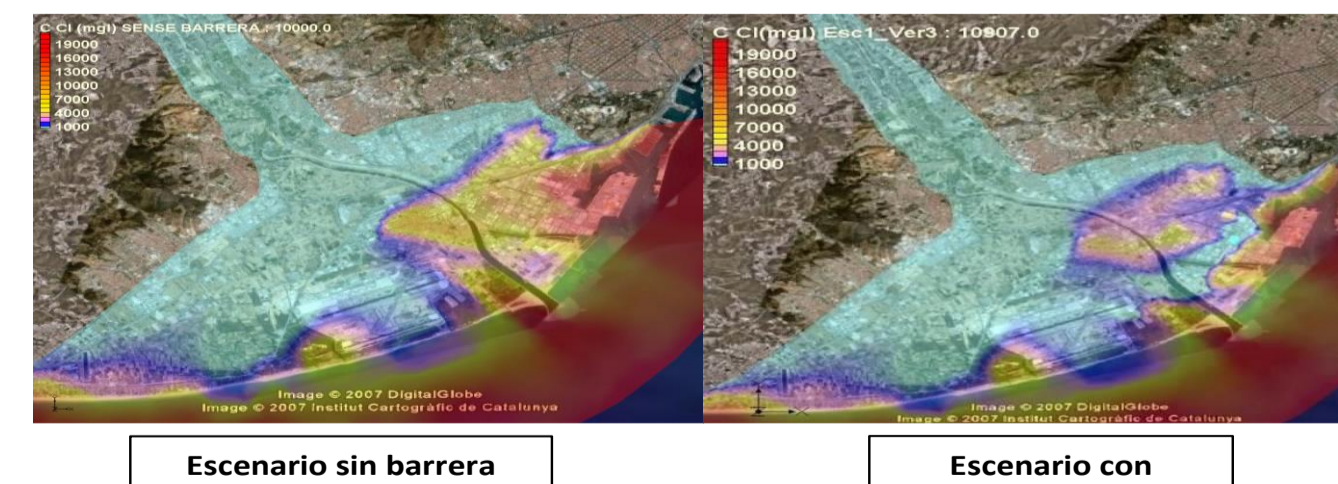
DETRACCIÓN DEL CAUDAL PUNTA DE UNA AVENIDA



Sistema para dividir el agua de una avenida en cabecera de Cuenca, aumentando su tiempo de concentración y reduciendo su efecto devastador. Boquera, Sierra de Espadán, Castellón.

4 NIVEL MARINO

BARRERAS HIDRÁULICAS POSITIVAS (SISTEMA ACTIVO)



Barrera hidráulica en el delta del río Llobregat (Barcelona). Representación gráfica del modelo empleado para calcular la evolución de la concentración de cloruros en el delta, horizonte 2035. ACA en CETAqua, 2013.



Barrera hidráulica positiva empleando las aguas de la depuradora de MALTA Sur. Reducción de la intrusión marina

CONCLUSIONES

Este artículo pretende responder a la pregunta: ¿Es la recarga gestionada de los acuíferos una técnica polivalente y efectiva de adaptación al CC? Esta cuestión ha sido aceptada a veces como un dogma de fe, sin una base técnica sólida para justificar que la técnica MAR está en primera línea en el combate frontal de los efectos adversos del cambio climático.

Multitud de casos demostrativos de éxito distribuidos por todo el planeta, así como resultados cuantitativos medidos e indicadores de consecución del objetivo confirman esta afirmación.

