

III. OTRAS DISPOSICIONES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, JUSTICIA Y RELACIONES CON LAS CORTES

22505 *Resolución de 20 de octubre de 2026, de la Subsecretaría, por la que se publica el Convenio entre la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A., y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, M.P., para la aplicación del modelo geotérmico Geoterz de simulación y valoración de alternativas de gestión de los aprovechamientos geotérmicos con aguas subterráneas en la ciudad de Zaragoza. Estudio del impacto del cambio climático a corto-medio plazo en la gestión.*

El Presidente de la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A., y el Vicepresidente de Organización y Relaciones Institucionales de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, M.P., han suscrito, con fecha de 24 de septiembre de 2026, un convenio para la aplicación del modelo geotérmico Geoterz de simulación y valoración de alternativas de gestión de los aprovechamientos geotérmicos con aguas subterráneas en la ciudad de Zaragoza. Estudio del impacto del cambio climático a corto-medio plazo en la gestión.

Para general conocimiento, y en cumplimiento de lo establecido en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, dispongo la publicación en el «Boletín Oficial del Estado» del referido convenio como anejo a la presente resolución.

Madrid, 20 de octubre de 2026.–El Subsecretario de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, Alberto Herrera Rodríguez.

ANEJO

Convenio suscrito entre la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A., y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, a través de su C.N. Instituto Geológico y Minero de España para la aplicación del modelo geotérmico Geoterz de simulación y valoración de alternativas de gestión de los aprovechamientos geotérmicos con aguas subterráneas en la ciudad de Zaragoza. Estudio del impacto del cambio climático a corto-medio plazo en la gestión

INTERVIENEN

De una parte, el Presidente de la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A., don Carlos Arrazola Martínez, en representación de la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A. (en adelante CHE), cargo para el que fue nombrado por Resolución, de 7 de septiembre de 2024, de la Subsecretaría (BOE 23 de septiembre de 2024), de conformidad con lo establecido en el artículo 48.2 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público y facultado para la firma por lo previsto en el artículo 30.1.a) del texto refundido de la Ley de Aguas.

De otra, don Carlos Closa Montero, en nombre y representación, en su calidad de Vicepresidente de Organización y Relaciones Institucionales, de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, M.P. (en adelante CSIC), nombrado mediante Acuerdo del Consejo Rector del CSIC en su reunión de 30 de noviembre de 2022 (BOE de 23 de diciembre de 2022 – Resolución de la Presidencia del CSIC de 14 de diciembre de 2022, por la que se resuelve la convocatoria de libre designación). Además, actúa en ejercicio de la competencia que, en materia de convenios e

instrumentos jurídicos análogos, tiene delegada por resolución de la Presidencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (artículos 11 y 13.1), de 5 de diciembre de 2023 (BOE de 18 de diciembre de 2023).

Reconociéndose ambas partes capacidad legal suficiente y en ejercicio de las facultades que por razón de su cargo tienen atribuidas en nombre de las entidades que representan

EXPONEN

1) La CHE es un Organismo Autónomo adscrito al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, que tiene entre sus fines principales la gestión y la protección del dominio público hidráulico, de acuerdo con lo recogido en el texto refundido de la Ley de Aguas (RDL 1/2001) y su normativa de desarrollo. Esta normativa surge de la obligatoria transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva Marco del Agua (en adelante, DMA).

2) Es precisamente la DMA la que establece como uno de sus objetivos principales la consecución del buen estado de las aguas subterráneas, evitando o limitando la entrada de contaminantes en dichas aguas y evitando el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea.

3) La masa de agua subterránea «Aluvial del Ebro: Zaragoza» (ES091MSBT058), localizada bajo la ciudad de Zaragoza, presenta actualmente un estado general deficiente debido a la presencia, fundamentalmente de Nitratos, así como otros contaminantes como metales pesados, compuestos BTEX y compuestos orgánicos volátiles (COVs). La contaminación urbana e industrial ha sido identificada como un problema prioritario a resolver en el Esquema de Temas Importantes (ETI) del tercer ciclo del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (2022-2027). A esta situación se suma el impacto del creciente número de instalaciones geotérmicas que explotan el acuífero urbano para la climatización de edificios, generando un volumen cada vez mayor de vertidos térmicos que alteran tanto el régimen hidráulico como el térmico del acuífero. Más aún, los escenarios de cambio climático apuntan a un aumento de la temperatura ambiente, con veranos cada vez más cálidos y prolongados, y olas de calor más frecuentes e intensas. Esto incrementará la demanda de energía térmica para climatización, intensificando el uso de sistemas geotérmicos. Esto añade presión adicional sobre una masa de agua ya de por sí en riesgo de no cumplir con los objetivos medioambientales establecidos por la Directiva Marco del Agua (DMA). A nivel europeo se reconoce el importante papel de la energía geotérmica (2023/2111(INI)), y también se subraya la necesidad de mantener altos estándares ambientales en todas las fases de los proyectos y se exige adoptar un enfoque de sostenibilidad.

4) La simulación numérica es actualmente la única herramienta capaz de reproducir y predecir de forma conjunta tanto los impactos hidrodinámicos y térmicos derivados de las captaciones y vertidos térmicos de múltiples instalaciones geotérmicas, como de las dinámicas hidráulicas naturales de los acuíferos. Para abordar esta complejidad, se emplean modelos numéricos en régimen transitorio que simulan de forma acoplada el flujo de agua subterránea y el transporte de calor en tres dimensiones. Esta modelización avanzada es necesaria porque el calor se desplaza principalmente por advección, siguiendo el flujo del agua subterránea, pero también se transfiere por conducción en dirección vertical hacia la zona no saturada y el basamento impermeable. La complejidad aumenta y el sistema se vuelve no lineal cuando las extracciones e inyecciones de los sistemas geotérmicos alteran de forma transitoria el flujo de agua y, en consecuencia, el transporte de calor.

5) La correcta simulación numérica del régimen hidráulico y térmico de los acuíferos depende de una adecuada cantidad y calidad de datos de campo, especialmente de mediciones de nivel y temperatura del agua subterránea, obtenibles únicamente a través de la construcción de piezómetros. Además, la construcción de

piezómetros ofrece información valiosa sobre la geometría del acuífero y las propiedades hidráulicas y térmicas específicas de sus materiales.

6) El CSIC, de conformidad con el artículo 47 de la Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación («Ley de la Ciencia»), es un organismo público de investigación (OPI) constituido actualmente como Agencia Estatal y adscrito al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a través de la Secretaría General de Investigación, que tiene por objeto el fomento, la coordinación, el desarrollo y la difusión de la investigación científica y tecnológica, de carácter multidisciplinar, con el fin de contribuir al avance del conocimiento y al desarrollo económico, social y cultural, así como a la formación de personal y al asesoramiento a entidades públicas y privadas en estas materias.

El CSIC, en su condición de agencia estatal, se rige por lo establecido en los artículos 108 bis a 108 sexies de la Ley 40/2015, de 1 de octubre de 2015, de Régimen Jurídico del Sector Público, y por las disposiciones de su Estatuto, aprobado por Real Decreto 1730/2007, de 21 de diciembre. En el artículo 5.1.j de su Estatuto atribuye al CSIC entre sus funciones la de «informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, conforme a principios de suficiencia financiera, imparcialidad, independencia y confidencialidad».

El Instituto Geológico y Minero de España (en adelante CSIC-IGME), es un centro nacional del CSIC, sin personalidad jurídica diferenciada, previsto en el artículo 26 bis de su estatuto, siendo el centro de investigación y servicios técnicos de referencia y soporte para la política minera del Gobierno y de los Ministerios de Industria, Turismo y Comercio y para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en especial en materias relacionadas con las ciencias y tecnologías de la Tierra para cualquier actuación sobre el territorio, las aguas continentales y el subsuelo, a través de estudios e investigaciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas.

Sin perjuicio de las competencias en la gestión del agua, la disposición adicional cuarta del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, contempla la realización por parte del CSIC-IGME de actuaciones tendentes al mejor conocimiento y protección de los acuíferos subterráneos, y prestación de asesoramiento técnico a las distintas Administraciones públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas.

7) Desde el inicio, el CSIC-IGME ha participado activamente en la caracterización de la explotación geotérmica del acuífero urbano de Zaragoza. En un primer convenio específico de colaboración con la CHE (2009-2013), se definieron las propiedades hidráulicas y térmicas del acuífero, y se describieron los sistemas geotérmicos existentes, además de establecerse las condiciones de explotación sostenible de las instalaciones geotérmicas. Posteriormente, en un segundo convenio «Aplicación de un modelo de transporte de calor en aguas subterráneas para la simulación y alternativas de gestión de aprovechamientos geotérmicos en la ciudad de Zaragoza» (2015-2018), se construyó un modelo numérico hidrogeológico-geotérmico 3D avanzado, denominado Geoterz, riguroso y consistente con toda la información recopilada durante ambos convenios. El alto grado de precisión alcanzado por el modelo Geoterz configura una herramienta de gran capacidad predictiva que proporciona un criterio científico único a la CHE de gran utilidad para la toma de decisiones informadas en los procedimientos para otorgar concesiones de explotación de aguas subterráneas y autorizaciones de vertidos térmicos en la masa de agua subterránea «Aluvial del Ebro: Zaragoza».

8) El modelo geotérmico Geoterz es el primer modelo numérico a escala de ciudad, y se ha consolidado como una referencia internacional en la explotación geotérmica de acuíferos urbanos. Desarrollado por el CSIC-IGME, este modelo ha sido utilizado en la elaboración de más de 20 artículos publicados en revistas internacionales, cada uno sometido a rigurosa revisión por pares, lo que permite considerarlo ampliamente validado por la comunidad científica internacional.

9) El CSIC, a través del CSIC-IGME, ha empleado el modelo Geoterz en más de 30 informes técnicos entre 2016 y 2023, solicitados por la CHE para apoyar la toma de

decisiones en expedientes de autorización y revisión de vertidos térmicos. Ante el creciente número de instalaciones geotérmicas y la complejidad de predecir sus impactos en la masa de agua subterránea, la CHE requiere el uso del modelo Geotertz para realizar simulaciones y estudios detallados de impacto térmico. Además, en el marco del Plan Nacional de Aguas Subterráneas (2024), la CHE, a través del MITECO, ha solicitado al CSIC-IGME informes adicionales que, mediante el modelo Geotertz, permitan evaluar escenarios de interferencia entre dos instalaciones geotérmicas en el acuífero aluvial urbano de Zaragoza, proporcionando a los usuarios alternativas de explotación sostenible.

10) Mediante la colaboración propuesta en este convenio, se pretende actualizar y mejorar el modelo numérico Geotertz como herramienta de gestión esencial para la CHE en la toma de decisiones informadas sobre la autorización de vertidos térmicos en el acuífero urbano de Zaragoza; y aplicar dicho modelo para estudiar el impacto del cambio climático a corto y medio plazo en la gestión de estos recursos.

Por todo ello, las partes acuerdan suscribir el presente convenio con arreglo a las siguientes

CLÁUSULAS

Primera. *Objeto del convenio.*

El presente convenio tiene por objeto instrumentar la colaboración, cooperación y la coordinación necesaria entre la CHE y el CSIC-IGME, para la «Aplicación del modelo geotérmico Geotertz de simulación y valoración de alternativas de gestión de los aprovechamientos geotérmicos con aguas subterráneas en la ciudad de Zaragoza. Estudio del impacto del cambio climático a corto-medio plazo en la gestión». Para ello, se llevará a cabo la actualización, mejora y aplicación del modelo geotérmico Geotertz, con el fin de evaluar su rendimiento en condiciones reales. Al mismo tiempo, la CHE podrá obtener información clave de cara a una optimización de la gestión de la explotación intensiva de los recursos geotérmicos en la masa de agua subterránea ES091MSBT058, actualmente en riesgo de no cumplir con los objetivos ambientales en un contexto de cambio climático.

En el anexo se describen de forma genérica los objetivos de la actividad a desarrollar por el CSIC-IGME, dentro del presente convenio. A partir de los contenidos ahí expuestos, la Comisión de Seguimiento (cláusula sexta) anualmente programará de forma detallada la actividad a llevar a cabo en el correspondiente año, siempre que no afecte al contenido mínimo y esencial del convenio, el cual no puede ser objeto de modificación en la Comisión de Seguimiento.

Segunda. *Ámbito de aplicación.*

El ámbito geográfico en el que se va a realizar este convenio es la masa de agua subterránea «Aluvial del Ebro: Zaragoza», con código ES091MSBT058, en la que se realiza la explotación intensiva del agua subterránea para su aprovechamiento térmico mediante numerosos pozos de captación y devolución geotérmicos.

Tercera. *Obligaciones de las partes. Propiedad de los trabajos.*

(A) Obligaciones del CSIC-IGME.

1. EL CSIC aportará las infraestructuras necesarias para el cumplimiento de los objetivos marcados, incluyendo las instalaciones y locales que resulten necesarios para el desarrollo de la actividad, sin perjuicio de la utilización puntual de instalaciones de la CHE que resulten necesarias.

2. En el anexo se describen de forma genérica los objetivos de la actividad a desarrollar por el CSIC a través del CSIC-IGME. Anualmente, durante el primer trimestre,

se programará de forma detallada la actividad a llevar a cabo en el correspondiente año, siendo responsable de ello la Comisión de Seguimiento definida en la cláusula sexta.

3. Para el cumplimiento de los objetivos marcados, el CSIC a través del CSIC-IGME, realizará las actividades necesarias con personal universitario titulado en los ámbitos directamente relacionados con las materias objeto de esas mismas actividades. En concreto, dicho personal deberá ser especialista en modelización numérica de acuíferos, así como en la obtención y validación de la correspondiente información de campo.

4. Corresponderá al CSIC hacerse cargo de los impuestos u otras cargas que sean aplicables a las actividades objeto del convenio, así como cualquier compensación o responsabilidad respecto al personal que aporte para su ejecución.

5. El CSIC, a través del CSIC-IGME, elaborará informes técnicos y una base de datos que recoja el conjunto de las tareas realizadas durante el desarrollo del proyecto. Sin perjuicio de ello, compartirá con la CHE y pondrá a disposición de ésta los datos y demás información sobre los resultados que se vayan obteniendo, en cualquier momento en que le sean solicitados.

6. El CSIC, a través del CSIC-IGME, informará con la mayor brevedad de cualquier resultado anómalo que detecte en el curso de las tareas de este convenio.

(B) Obligaciones de la CHE.

1. La CHE facilitará al CSIC, a través del CSIC-IGME, los datos de caudal y temperatura almacenados en el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) correspondientes a los dispositivos de control de las instalaciones geotérmicas, y que son remitidos por los titulares de las autorizaciones de vertido.

2. Asimismo, facilitará información existente en la base de datos del Organismo de cuenca sobre las citadas instalaciones geotérmicas.

3. La CHE realizará la aportación económica prevista en la cláusula Cuarta.

Los resultados de los trabajos objeto del convenio serán propiedad de los dos organismos que suscriben el mismo. Lo anterior se sobreentiende sin merma del derecho de uso de los resultados por el equipo investigador para fines científicos, ni el de la CHE para su incorporación a las pertinentes bases de datos e informes. En todo caso, cuando se realicen publicaciones o comunicaciones de carácter científico, basadas en los resultados del estudio, el CSIC se compromete a citar siempre, y de forma explícita, que los resultados obtenidos son fruto del presente convenio, siendo todo ello puesto en conocimiento de la CHE. Lo dispuesto en esta cláusula seguirá siendo de aplicación posteriormente a la finalización del convenio.

Cuarta. *Financiación.*

Como contribución a la financiación de las tareas de interés común objeto de este convenio, durante los cuatro años que dura el convenio, la CHE se compromete a aportar la cantidad de 65.000 euros al año (IVA incluido), que hace un total de 260.000 euros en los cuatro años de vigencia del mismo, que se abonarán con cargo a la aplicación presupuestaria 23.104.456A.640.

Los gastos en que, en su caso, incurra la entidad participante CSIC-IGME con ocasión de la ejecución de las actuaciones previstas en el presente convenio, serán asumidos con cargo a su presupuesto ordinario.

Quinta. *Forma de abono.*

El ingreso de las cantidades se realizará mediante transferencia al número de cuenta ES95 0049 0126 60 2510783115, abierta en el Banco Santander Central Hispano, a nombre del CSIC (CIF. Q2818002D), designada para el CSIC-IGME, previa presentación de la factura e informes por ésta con los estudios y gastos realizados en cumplimiento de los objetivos de este convenio.

Sexta. *Comisión de seguimiento.*

De acuerdo con lo previsto en el apartado 49.f de la LRJSP, para el seguimiento, vigilancia y control de la ejecución del presente convenio, se creará una Comisión de Seguimiento de los trabajos.

Dicha comisión será paritaria, y estará formada por un máximo de cuatro miembros, de los cuales dos serán Técnicos Superiores de la Comisaría de Aguas, por parte de la CHE y dos Científicos Titulares por parte del CSIC-IGME, siendo uno de ellos experto en geotermia somera, responsable de los trabajos, y actuando uno de los Técnicos Superiores como Presidente de dicha Comisión. Asimismo, ambas entidades podrán designar asesores técnicos, que actuarán con voz, pero sin voto, para los miembros de la mencionada Comisión.

La Comisión será la responsable de la programación anual de las actividades, a realizar durante el primer trimestre del año, siempre que no afecte al contenido mínimo y esencial del convenio, el cual no puede ser objeto de modificación en la Comisión de Seguimiento. También de la dirección de los trabajos, dando las instrucciones necesarias para la realización de los mismos, realizando su seguimiento y coordinación. Sus decisiones serán vinculantes para ambas partes. Sus reuniones se celebrarán con carácter periódico y siempre que lo solicite cualquiera de las partes.

La Comisión podrá designar a una persona o equipo para la coordinación del personal que desarrolle los trabajos objeto de este convenio.

La Comisión será la encargada de resolver los problemas de interpretación y cumplimiento que puedan plantearse respecto a la ejecución del presente convenio.

Por acuerdo de la Comisión de Seguimiento las partes podrán promover y aprobar posibles reajustes de anualidades de pagos en función de la evolución de la ejecución del objeto y de las actuaciones contempladas en el presente convenio, siempre que estos no supongan un incremento económico global del mismo, ni del plazo del mismo.

Séptima. *Modificación y resolución del convenio.*

El convenio podrá ser modificado por acuerdo unánime de las partes, mediante la formalización de la correspondiente adenda, siempre dentro del plazo de vigencia.

La adenda modificativa supondrá la realización de la tramitación ordinaria que conlleva toda modificación de un convenio suscrito, en particular la solicitud de una nueva autorización al Ministerio de Hacienda, así como su posterior inscripción en el Registro Electrónico Estatal de Órganos e Instrumento de Cooperación y publicación en el «Boletín Oficial del estado», en cumplimiento del artículo 50.2c) y de la disposición adicional séptima de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

El convenio se extinguirá por el cumplimiento de las actuaciones que constituyen su objeto o por incurrir en alguna de estas causas de resolución:

a) El transcurso del plazo de vigencia del convenio sin haberse acordado la prórroga del mismo.

b) Por acuerdo unánime de las partes.

c) El incumplimiento por alguna de las partes de cualquiera de las cláusulas establecidas en el presente convenio. En este caso, cualquiera de las partes podrá notificar a la parte incumplidora un requerimiento para que, en el plazo de quince días desde la recepción de la notificación, cumpla sus obligaciones. Si transcurrido el plazo indicado en el requerimiento persistiera el incumplimiento, la parte que lo dirigió notificará a las partes firmantes la concurrencia de la causa de resolución y se entenderá resuelto el convenio.

d) Decisión de cualquiera de las partes si sobreviniesen causas que impidiesen o dificultasen de forma significativa la ejecución del convenio.

e) Por decisión judicial declaratoria de la nulidad del convenio.

En caso de resolución del convenio, las partes quedan obligadas al cumplimiento de sus respectivos compromisos hasta la fecha en que ésta se produzca y dará lugar a la liquidación del mismo con el objeto de determinar las obligaciones y compromisos de cada una de las Partes en los términos establecidos en el artículo 52 de la Ley 40/2015.

Además, tal como establece el artículo 52.3 de la Ley 40/15, si existieran actuaciones en ejecución, las partes, a propuesta de la Comisión de Seguimiento, podrán acordar la continuación y la finalización de las actuaciones en curso que consideren oportunas, estableciendo un plazo improrrogable para su finalización, transcurrido el cual deberá realizarse la liquidación de las mismas en los términos establecidos en el artículo 52.2 de la citada ley.

Asimismo, y como causa específica de resolución de acuerdo con lo indicado en el artículo 51.2 de la Ley 40/2015 se podrá resolver el convenio por cualquiera de las partes, de manera unilateral previo aviso, con tres meses de antelación.

Para la determinación de los efectos de la resolución del convenio, se estará a lo dispuesto en el artículo 52 de la Ley 40/2015 de 1 de octubre.

Octava. Entrada en vigor y vigencia del convenio.

De acuerdo con lo recogido en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015 de 1 de octubre, el convenio resultará eficaz una vez inscrito en el Registro Estatal de Órganos e Instrumentos de Cooperación del sector público estatal (REOICO). Adicionalmente debe publicarse en el BOE. Su duración será de cuatro años prorrogable expresamente por acuerdo unánime de las partes por un periodo de cuatro años adicionales.

Novena. Naturaleza y jurisdicción.

El presente convenio tiene naturaleza administrativa y las cuestiones litigiosas que puedan suscitarse sobre la interpretación, cumplimiento y efectos del presente convenio se someterán al control de la jurisdicción contencioso-administrativa.

Y en prueba de conformidad, firman electrónicamente el presente convenio, constando como fecha de suscripción la última realizada.—El Presidente de la Confederación Hidrográfica del Ebro, O.A., Carlos Arrazola Martínez.—El Vicepresidente de Organización y Relaciones Institucionales de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, M.P., Carlos Closa Montero.

ANEXO

Antecedentes y resumen esquemático de la actividad a desarrollar

Actualmente, la CHE está llevando a cabo una ambiciosa y pionera iniciativa en la tramitación de expedientes de autorización y revisión de vertidos térmicos procedentes de instalaciones geotérmicas someras en la masa de agua subterránea «Aluvial del Ebro: Zaragoza» (ES091MSBT058), ubicada en parte bajo la ciudad de Zaragoza. Este convenio tiene como objetivo mejorar significativamente el conocimiento sobre los impactos térmicos y de calidad asociados de estos vertidos en dicho dominio público subterráneo. En particular, se busca estudiar las características de los penachos térmicos generados en el acuífero intensamente explotados térmicamente.

La explotación de estos recursos térmicos del agua subterránea en esta masa de agua, en cuanto a magnitud y número de vertidos, no se tiene precedente en ninguna otra demarcación hidrográfica nacional. Esta situación representa una clara oportunidad para potenciar las capacidades del modelo numérico Geoterz, hasta ahora utilizado por el CSIC-IGME para el estudio del régimen térmico del subsuelo de la ciudad de Zaragoza y alrededores. La alta densidad de vertidos térmicos y su variabilidad de caudales y temperaturas proporciona un escenario ideal para el estudio de mejora y validación este tipo de modelos, contribuyendo así en la práctica a optimizar la gestión de los recursos hídricos subterráneos en un contexto de cambio climático.

Para alcanzar los objetivos establecidos en el presente convenio, es esencial actualizar, mejorar y aplicar el modelo Geotertz para la modelización numérica precisa de los complejos procesos que intervienen en el flujo de agua subterránea y el transporte de calor en la masa de agua subterránea objeto de estudio. Esto requiere restablecer y potenciar su capacidad predictiva mediante una actualización integral que incluya nuevas funcionalidades, las cuales permitirán simular de manera detallada tanto el comportamiento del flujo de agua subterránea como el régimen térmico asociado. Así, el modelo proporcionará una herramienta predictiva robusta para la gestión y el análisis de los recursos hídricos en condiciones variables, proporcionando una capacidad predictiva más efectiva ante escenarios de explotación intensiva bajo un contexto de cambio climático.

La actividad que llevará a cabo el CSIC-IGME en el marco del presente convenio tiene una marcada componente investigadora, alineada con la línea de investigación en geotermia somera iniciada hace más de quince años y estrechamente vinculada al desarrollo del modelo Geotertz. Esta dimensión investigadora del convenio se conecta directamente con la aplicación práctica de los resultados obtenidos, aplicándolos a un caso real de gran relevancia: determinar la incidencia de los vertidos geotérmicos sobre la masa de agua subterránea del Aluvial del Ebro en Zaragoza, y ofrecer la posibilidad de adoptar mejoras o cambios en la explotación de los sistemas geotérmicos con el fin de reducir dicha incidencia, en un contexto de cambio climático.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 47 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, se evidencia la existencia de un interés común en el presente convenio. Por un lado, el CSIC-IGME muestra interés en mejorar el conocimiento sobre la dinámica del régimen térmico de los acuíferos urbanos. En particular, se propone aprovechar las excepcionales características del acuífero de Zaragoza –tanto por el conocimiento existente del medio subterráneo como por el alto grado de instrumentación de las instalaciones geotérmicas– para considerarlo como un laboratorio natural en geociencias. Esto permitirá avanzar en el desarrollo del modelo geotérmico Geotertz, que será actualizado y mejorado en su resolución espacial en el marco de este convenio. Por otro lado, la CHE busca que esta herramienta contribuya a obtener información de cara a una posible optimización de la gestión de los recursos hídricos subterráneos y a la tramitación de permisos del Organismo de cuenca. Esto incluye tanto la concesión de aprovechamientos de aguas públicas para su utilización en instalaciones de geotermia, como la autorización de vertidos térmicos procedentes de dichas instalaciones, así como la revisión de dichas autorizaciones, que están sujetas a supervisión por parte del organismo de cuenca competente en dicha materia.

En este anexo se describen de forma genérica y no exhaustiva los posibles objetivos de la actividad a desarrollar por CSIC-CHE dentro del presente convenio. A partir de los contenidos aquí expuestos, la Comisión de Seguimiento (cláusula sexta) anualmente programará de forma detallada la actividad a llevar a cabo en el correspondiente año, siempre que no afecte al contenido mínimo y esencial del convenio, el cual no puede ser objeto de modificación en la Comisión de Seguimiento.

A continuación, se describen las tres actividades principales necesarias para lograr una explotación sostenible de los recursos hídricos subterráneos de la masa ES091MSBT058 destinados al uso térmico bajo escenarios de cambio climático:

1. Actualización y mejora del modelo Geotertz.

El modelo geotérmico Geotertz fue calibrado por última vez en 2018, al cierre del segundo convenio entre la CHE y el CSIC-IGME. Desde entonces, su capacidad predictiva ha disminuido progresivamente, generando una situación de incertidumbre y de necesidad de actualización. Esta falta de actualización limita la base científica para realizar predicciones fiables sobre el impacto en la masa de agua que generan las instalaciones geotérmicas que utilizan el agua subterránea objeto de este convenio.

Dentro del presente convenio se cree de interés:

- Actualización del modelo Geoterz: Se integrarán datos recientes (2018-2025) que reflejan las condiciones transitorias aplicadas al modelo. Esta actualización incluirá niveles y temperaturas de los ríos presentes en el área urbana de Zaragoza, además de registros de caudales y temperaturas de explotación tomados cada 15 minutos, facilitados a la CHE por los usuarios de los aprovechamientos geotérmicos que utilizan aguas subterráneas en el área de estudio. También se incorporarán las nuevas instalaciones, con el objetivo de reflejar de forma precisa las condiciones actuales de explotación geotérmica. Asimismo, se incluirán las instalaciones cuyos vertidos térmicos se realizan en la red de saneamiento.

- Validación del modelo Geoterz: Se procederá a validar la precisión del modelo en su configuración actual, comparando los valores calculados con los valores observados en variables de estado (nivel hidráulico y temperatura) durante el periodo postconvenio (2019-2025). En este periodo, el CSIC-IGME ha sostenido, en la medida de sus posibilidades y con fondos propios, la red de control geotérmica en Zaragoza, recopilando datos piezométricos y de temperatura. Esta información permite validar y recalibrar el modelo Geoterz para mejorar su capacidad de predicción.

- Mejora del conocimiento de la masa de agua subterránea «Aluvial del Ebro: Zaragoza» ES091MSBT058: Con el fin de responder al aumento de instalaciones geotérmicas en el centro urbano y mejorar la precisión del modelo geotérmico Geoterz en zonas de mayor incertidumbre, se construirán nuevos piezómetros en puntos estratégicos de la ciudad. Estos piezómetros, ubicados en áreas donde el agua subterránea podría no cumplir los objetivos ambientales, aportarán información hidrogeológica clave para optimizar el modelo geológico conceptual y mejorar la calibración del modelo.

- Recalibración del modelo Geoterz: Se procederá a optimizar una nueva calibración del modelo geotérmico Geoterz para su uso en un nuevo análisis del transporte de calor en la masa de agua subterránea en estudio. Para ello, serán fundamentales las mediciones de nivel piezométrico y temperatura del agua subterránea obtenidos de los nuevos piezómetros a construir, y las series de datos recopiladas por el CSIC-IGME entre 2018 y 2024, que permitirán mejorar la precisión y utilidad del modelo. Previo al proceso de calibración y para la optimización de este proceso, se realizará un análisis de sensibilidad de los parámetros calibrados.

- Transferencia y difusión de datos generados: Todos los datos medidos a partir de la red de control geotérmica durante la vigencia del convenio, así como aquellos obtenidos previamente en el marco de colaboraciones conjuntas, serán transferidos a través de la plataforma o protocolo de intercambio de datos que la CHE designe en cada momento, incluyendo el uso del protocolo FTP (File Transfer Protocol) si así se establece. Esta transferencia permitirá la actualización periódica de las bases de datos de la CHE y garantizará la disponibilidad trimestral de información sobre el estado térmico e hidráulico del acuífero. Las variables a suministrar incluirán el nivel piezométrico y la temperatura del agua subterránea. Adicionalmente, se generarán productos de visualización que serán integrados en el portal web de la CHE, permitiendo la consulta pública y actualizada de los resultados. Estos productos incluirán fichas descriptivas de las instalaciones, mapas de distribución de temperaturas del acuífero, perímetros de seguridad para proteger la eficiencia y la viabilidad de las instalaciones geotérmicas, zonas de afección de los puntos de vertido, así como mapas de piezometría y líneas de flujo del agua subterránea (red de flujo).

La mejora del modelo geotérmico Geoterz derivada de su actualización resultará en un aumento de su capacidad predictiva y en la integración de módulos avanzados de simulación que permitan una mayor precisión en la evaluación de los impactos y la eficiencia de las diversas estrategias de aprovechamiento geotérmico. Este perfeccionamiento técnico permitirá una representación más detallada de las interacciones entre los vertidos térmicos –procedentes de los sistemas geotérmicos– y

las aguas subterráneas, incluyendo la capacidad de simular variaciones térmicas y de flujo en diferentes escenarios de extracción y recarga. La mejora del modelo también abarca la incorporación de algoritmos de última generación para el análisis de los impactos ambientales y la sostenibilidad del recurso, permitiendo evaluar de manera más completa los efectos derivados de diferentes esquemas de explotación.

2. Análisis de sensibilidad de la masa de agua subterránea al cambio climático.

El cambio climático está provocando un incremento de las temperaturas globales y alteraciones significativas en el ciclo hidrológico. En la Demarcación Hidrográfica del Ebro, las tendencias climáticas indican un aumento de la temperatura ambiente, con veranos más cálidos y prolongados, y olas de calor más frecuentes e intensas. Esto generará una mayor demanda de energía para climatización, intensificando el uso de sistemas geotérmicos y aumentando la presión sobre el acuífero y los recursos hídricos subterráneos.

Este aumento en la demanda podría tener serias consecuencias para la sostenibilidad de los recursos de agua subterránea. Por un lado, el uso intensivo e insostenible de los recursos geotérmicos someros incrementaría las interferencias térmicas entre los sistemas geotérmicos. Por otro, se podría provocar una degradación adicional del entorno natural, poniendo en riesgo el compromiso europeo de mantener altos estándares ambientales en la utilización de la geotermia.

Es fundamental comprender cómo responderá cuantitativamente y cualitativamente el acuífero ante este incremento en la demanda. Para ello, se diseñarán escenarios de explotación que consideren posibles aumentos en los caudales extracción/devolución del agua subterránea y en las temperaturas de vertido, basados en los escenarios climáticos previstos para la región. Estos escenarios se integrarán en el modelo geotérmico Geoterz; a partir de los resultados de las simulaciones, se analizarán los impactos y se propondrán nuevas medidas de gestión sostenible adaptadas a los impactos del cambio climático para evitar la sobreexplotación y garantizar la conservación del dominio público hidráulico subterráneo, en cumplimiento de la Directiva Marco del Agua (DMA).

Dentro del presente convenio se cree de interés:

- Análisis de tendencias en regímenes de explotación geotérmica y cambio climático: Se analizarán datos de explotación de las instalaciones geotérmicas, datos suministrados por la CHE, con registros de varios años de explotación. Se determinará el efecto de las olas de calor en el cambio de demanda. A partir de los resultados, se propondrá una nueva metodología para calcular el cambio y tendencia plurianual de la demanda en diferentes escenarios de cambio climático. Finalmente, se calcularán los caudales y saltos térmicos diarios en función de la tendencia de incremento de demanda para los escenarios climáticos.

- Simulación de regímenes de explotación proyectados bajo cambio climático. Con las tendencias calculadas en la actividad anterior se llevarán a cabo una serie de simulaciones utilizando el modelo geotérmico Geoterz mejorado, con el objetivo de analizar la respuesta del acuífero urbano ante el aumento de demanda de refrigeración en escenarios de cambio climático, tal y como están definidos en el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). Se trata de un conjunto de escenarios socioeconómicos combinados con escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero llamados SSP-RCP (Shared Socioeconomic Pathways-Representative Concentration Pathways): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, que se corresponden con emisiones bajas, medias, altas y muy altas para el siglo XXI, respectivamente. Cada simulación integrará las proyecciones climáticas asociadas a cada escenario.

- Análisis de sensibilidad de las condiciones de contorno del modelo Goeterz al cambio climático. Se evaluarán los impactos de los diferentes escenarios de cambio climático mencionados en la recarga y régimen de flujo de agua subterráneo en la masa

de agua subterránea ES091MSBT058 «Aluvial del Ebro: Zaragoza». Para ello se realizará un modelo numérico de flujo de agua subterránea que abarcase como mínimo todo el dominio de dicha masa de agua subterránea bajo diferentes tasas de recarga. Para cada escenario climático simulado se redefinirán las nuevas isopiezas que se utilizan como condición de contorno del actual modelo Geotertz para comprobar si existe una variación significativa del régimen térmico del acuífero aluvial urbano de Zaragoza.

- Evaluación de la capacidad de resiliencia y sostenibilidad del acuífero ante sobrecarga térmica: Simulación de escenarios de explotación bajo cada proyección climática para analizar si el acuífero puede sostener la demanda sin experimentar sobreexplotación o impactos significativos en la calidad cualitativa del recurso. Además, se podría determinar el umbral de sobreexplotación o de impacto significativo, en zonas especialmente afectadas.

- Desarrollo de estrategias de gestión sostenible: A partir de los resultados de las simulaciones, se diseñarán recomendaciones de gestión para mitigar los efectos adversos y promover una explotación sostenible del recurso geotérmico y del acuífero. Esto incluye sugerencias para regulación de caudales de extracción, límites de temperaturas de vertido y políticas de distribución de demanda en períodos críticos.

Este punto permitiría una comprensión exhaustiva de la respuesta del acuífero y facilitaría la toma de decisiones basada en datos y en proyecciones climáticas, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y normativas ambientales europeas.

3. Evaluación a corto-medio plazo de políticas para la gestión sostenible del acuífero.

Actualmente, las limitaciones a los vertidos procedentes de instalaciones de geotermia, recogidas en el artículo 41.3 del Plan Hidrológico del Ebro y publicadas en el BOE mediante el Real Decreto 35/2023, fueron propuestas por la CHE en coordinación con el CSIC-IGME y como resultado de la actividad conjunta en convenios anteriores. Esta propuesta de criterios de sostenibilidad de la explotación requiere ser estudiada y/o corroborada para contemplar casuísticas que la normativa actual no abarca, como los efectos a corto-medio plazo de estos criterios bajo un contexto de cambio climático y la consideración de criterios alternativos o complementarios. Se considerará necesario valorar el diferenciar entre saltos térmicos positivos para refrigeración en verano y saltos térmicos negativos para absorción de calor durante el invierno a la hora de proponer restricciones. Estos últimos, los saltos térmicos de calefacción, podrían ser menos restrictivos debido al claro sesgo actual hacia la refrigeración y sobre calentamiento del acuífero.

Se analizarán los efectos de la política actual de gestión de la masa de agua subterránea a corto-medio plazo y se simularán alternativas de gestión que permitan mejorar la sostenibilidad del recurso en distintos escenarios futuros. Estos criterios se utilizarán para definir nuevos escenarios de explotación, donde se favorezca el aumento o disminución de caudales y/o saltos térmicos, considerando un incremento de demanda de acuerdo con las proyecciones climáticas basadas en los escenarios socioeconómicos del AR6 del IPCC.

Dentro del presente convenio se cree de interés:

- Definición de escenarios de explotación: Se contemplarán tres tipos de escenarios; escenarios basados en los criterios actuales (RD35/2023), escenarios con caudales aumentados y escenarios con saltos térmicos aumentados. Mediante la metodología desarrollada por el CSIC-IGME para la integración de energía equivalente diaria y estacional, se calcularán escenarios de explotación de acuerdo con las restricciones actuales y escenarios alternativos. Manteniendo la energía térmica diaria total transferida, se generarán escenarios alternativos con aumento de caudales y disminución de los saltos térmicos, y viceversa: escenarios con saltos térmicos aumentados y caudales disminuidos. En todos los escenarios se considerará una tasa

creciente de demanda coherente y proporcional con las proyecciones climáticas (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) del Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC.

- Análisis de la eficacia de la política actual: Se realizará un análisis numérico detallado utilizando el modelo geotérmico Geoterz mejorado y recalibrado en el marco del presente convenio. Este análisis evaluará el impacto cuantitativo de las políticas actuales (RD35/2023) sobre la gestión de la masa de agua subterránea, simulando los escenarios de explotación actuales y analizando su efectividad para garantizar la sostenibilidad y estabilidad del acuífero bajo condiciones climáticas actuales y proyectadas. Las simulaciones considerarán el incremento de demanda según las proyecciones climáticas del AR6 del IPCC.

- Análisis de la eficacia de una política alternativa de restricción adicional de saltos térmicos con caudales de explotación aumentados: Se llevará a cabo un análisis numérico similar al anterior, pero considerando restricciones adicionales más estrictas en los saltos térmicos, es decir, menores saltos térmicos que los establecidos en el RD35/2023. Para mantener la demanda térmica, se aumentarán los caudales de explotación de agua subterránea hasta satisfacer la demanda real de las instalaciones. Estos escenarios alternativos se simularán con el modelo Geoterz recalibrado, evaluando su eficacia en garantizar la sostenibilidad y estabilidad del acuífero bajo condiciones climáticas actuales y proyectadas. Las simulaciones también tendrán en cuenta el incremento de demanda según las proyecciones climáticas del AR6 del IPCC.

- Análisis de la eficacia de la política alternativa de restricción adicional de caudales de explotación y saltos térmicos aumentados: De forma similar al anterior, se llevará a cabo el análisis numérico considerando restricciones menos estrictas en los saltos térmicos que los establecidos en el RD35/2023. De nuevo, para mantener la demanda térmica, se disminuirán los caudales de explotación de agua subterránea. Se simularán estos escenarios alternativos con el modelo Geoterz calibrado, evaluando la eficacia de esta política alternativa para garantizar la sostenibilidad y estabilidad del acuífero. Las simulaciones también tendrán en cuenta la tendencia al incremento de demanda según las proyecciones climáticas del AR6 del IPCC.

- Evaluación de la sostenibilidad térmica a corto y medio plazo: A partir de los resultados de simulaciones numéricas, se evaluará la viabilidad de diferentes políticas de gestión en escenarios de explotación intensiva, considerando su impacto sobre la estabilidad de las temperaturas de captación y la posibilidad de interferencias térmicas entre instalaciones próximas. Este análisis permitirá identificar las estrategias más eficaces para garantizar una explotación térmica sostenible del acuífero en un contexto de cambio climático y creciente demanda energética.

Se entregarán a la CHE informes técnicos de vertido térmico con los resultados de las simulaciones y recomendaciones de gestión. Se elaborarán y entregarán a la CHE informes técnicos, estimándose en un número de siete, cifra podría verse modificada en función de las necesidades de información del Área de Calidad de Aguas de la CHE, correspondientes a distintas instalaciones, o grupo de ellas, con aprovechamientos geotérmicos en el entorno urbano de Zaragoza, que incluirán: (i) Diagnóstico del estado térmico del acuífero en el entorno de cada instalación, (ii) resultados de simulaciones numéricas de dispersión térmica y predicción de interferencias, (iii) mapas de temperaturas del acuífero, líneas de flujo y perímetros de protección y afección, (iv) evaluación de riesgos derivados del incremento de temperatura, y (v) propuestas de gestión sostenible y recomendaciones específicas por instalación.

- Evaluación de la sostenibilidad química a corto y medio plazo: Con base en los resultados de las simulaciones, se evaluará la viabilidad de cada política de gestión bajo los distintos escenarios planteados, considerando su impacto en la estabilidad de las temperaturas de captación y los efectos indirectos del aumento de la temperatura en la calidad química del agua subterránea, ya comprometida por contaminantes, principalmente, nitratos. Esta actuación incluye el análisis en los laboratorios del CSIC-IGME de 30 muestras de agua subterránea obtenidas de los puntos de control,

incluyendo todos los puntos de la red de control piezométrica CHE-IGME, y se analizará un grupo de 16 parámetros (análisis fisicoquímico básico de aguas): pH, Conductividad, Oxidabilidad, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloruro, Sulfato, Bicarbonato, Carbonato, Nitrato, Nitrito, Amonio, Fosfato y Sílice. Además, se analizarán elementos traza (metales traza en muestras líquidas mediante ICP-MS), y se determinarán elementos mayoritarios y traza (análisis por ICP-AES). Se llevará a cabo una exhaustiva campaña de muestreo para analizar la composición química actual del agua subterránea y su nivel de contaminación (estado cualitativo actual). Posteriormente, se realizará un estudio geoquímico de sensibilidad a incrementos de temperatura de las reacciones exotérmicas y endotérmicas de adsorción/desorción de estos compuestos y sus efectos en la biodisponibilidad, sirviendo como base para una evaluación de posibles riesgos o no para la salud ambiental de la explotación térmica de las aguas subterráneas en un marco de explotación intensiva. Este análisis permitirá identificar las políticas más robustas y sostenibles para la gestión del acuífero en un contexto de cambio climático y creciente demanda geotérmica.

– Recomendaciones para la adaptación de políticas: A modo de conclusión general, se presentarán recomendaciones clave para fortalecer la sostenibilidad y eficiencia en la gestión del acuífero. Estas recomendaciones incluirán posibles ajustes en las políticas actuales, establecimiento de posibles valores umbral de explotación alternativos, y estrategias específicas para la distribución de la demanda y límites de extracción, alineadas con los desafíos climáticos previstos en los escenarios del IPCC. Estas medidas contribuirán a alcanzar el término medio (optimización) entre la explotación de los recursos geotérmico subterráneos, y la garantía de la conservación del recurso hídrico subterráneo a corto y medio plazo en aras de cumplir con los objetivos de sostenibilidad ambiental.

Este enfoque holístico integrado permitirá anticipar los impactos de diferentes políticas de gestión del agua subterránea en el acuífero, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y el desarrollo de estrategias que aseguren la conservación del recurso a corto-medio plazo, en línea con los objetivos de sostenibilidad de la Directiva Marco del Agua (DMA).