

**ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA Y LAS  
FORMACIONES GEOLÓGICAS DE  
AGUAS MINERALES EN ESPAÑA**

**Septiembre 2007**

## INDICE

	Pág
1. PRESENTACIÓN. JUSTIFICACIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS .....	3
3. BASE DE DATOS DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DEL IGME (BAM) .....	6
4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS MINERALES. MAPAS DE FACIES HIDROQUÍMICAS.....	21
5. MAPA DE DOMINIOS HIDROMINERALES.....	34
6. AGUAS MINERALES SINGULARES. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL .....	42
7. MAPA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES DE ESPAÑA.....	55
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## **1. PRESENTACIÓN. JUSTIFICACIÓN.**

El Instituto Geológico y Minero de España ha venido realizando desde su creación en el siglo XIX, trabajos de diversa índole en el campo de las aguas minerales y termales en España, puesto que estas constituyen un importante recurso minero de nuestro subsuelo con especial interés económico. Esta serie de actuaciones han conducido a un mejor conocimiento sobre el origen y naturaleza de este recurso así como a una mejor evaluación de su importancia cuantitativa y de los medios necesarios para su protección.

En la actualidad el IGME desarrolla varios estudios que confluyen en su objetivo de analizar en profundidad los aspectos genéticos de las aguas minerales y termales.

Por otra parte, la Ley 22/1973 de 21 de Julio de Minas y el Real Decreto 2857/1978 de 25 de Agosto por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería, asigna al IGME una función consultiva en un doble aspecto: como centro de realización de análisis físico-químicos y redacción de los consiguientes informes para los expedientes de declaración de aguas minerales, por una parte, y como organismo consultivo para informar sobre las propuestas de perímetros de protección de las aguas minerales declaradas en su posterior procedimiento de concesión de aprovechamiento.

Como consecuencia de todo ello se ha generado, en todos estos años, en el IGME, una abundante información de extraordinario interés científico, que se hacía preciso organizar en una base de datos relacionada con un sistema de información geográfica, que permita asociarle a toda la información de tipo geológico e hidrogeológico disponible en el IGME.

Por ello, este Organismo decidió acometer la realización de una recopilación, tratamiento y síntesis de toda la información citada creando la BASE DE DATOS DE AGUAS MINERALES (BAM). Con esta base de datos disponible ha sido posible llevar a cabo un análisis estadístico e hidrogeológico del conjunto, lo que ha permitido, tras estudiar las diferentes características físico-químicas de las aguas minerales, llevar a cabo una clasificación sistemática en familias o facies hidroquímicas, analizar su distribución geológica y geográfica, definir las áreas de mayor densidad de cada una de las facies, relacionar las mismas con las litologías presentes en dichas áreas, definir los llamados puntos o aguas singulares como anómalas en su entorno para, finalmente, delimitar una serie de conjuntos de formaciones geológicas denominados dominios hidrominerales, en los que, ante la presencia de determinadas composiciones litológicas y ambientes tectónicos-estructurales, se producen aguas minerales con facies hidrogeoquímicas predominantes y en las que la concentración de determinados elementos o características físico-químicas, pueden presentar valores anómalos respecto del conjunto general existente en la base de datos.

Finalmente, toda esta información se ha sintetizado en un MAPA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES DE ESPAÑA.

El presente documento constituye el informe final de síntesis de los resultados alcanzados en esta investigación.

## **2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

Con formato: Numeración y viñetas

La explotación económica de los recursos hidrominerales se lleva a cabo actualmente a través de dos tipos diferentes de industria: la balneoterápica y la de bebida envasada, ambas generadoras de una ingente actividad económica con un importante número de empleos directos e indirectos, la mayoría de ellos en zonas rurales. El crecimiento de uso de aguas embotelladas en España se encuentra a la cabeza de Europa, generando un volumen de negocio que supera ampliamente los 500 millones de euros anuales. Respecto de la industria de los balnearios, aunque su balance económico es más difícil de cuantificar, los datos estimativos existentes que cifran el volumen de negocio en más de 100 millones de euros.

Por tanto, es de especial relevancia para la economía española preservar este patrimonio, para lo cual es imprescindible conocerlo. Una primera fase ya se ha llevado a cabo con un inventario de fuentes y captaciones cuya síntesis final es la edición del libro titulado: "Las Aguas Minerales en España" editada por el IGME en 2001. En este libro se incluían dos mapas generales de las aguas minerales en España. El primero de ellos, publicado en 1974, por IGME, bajo la dirección del Excmo. Sr. D. Agustín Marín y Beltrán de Lis, denominado Mapa de Manantiales Minero Medicinales de España. El segundo, cuya elaboración estuvo muy ligada a la citada publicación y denominado MAPA DE LAS AGUAS MINERALES DE ESPAÑA. En ambos mapas se representan puntos de aguas minerales caracterizados químicamente sobre una base geológica disponible entonces, pero sin deducir de ello relaciones de influencia entre el ámbito geológico y la composición de las aguas.

Para la buena protección de estas aguas es necesario acometer una segunda fases, consistente en el estudio de los mecanismos que los generan y de las características de la formación en la que son captadas, así como del conocimiento del modelo geológico, hidrogeológico e hidroquímico que da lugar a las mismas, lo que permitirá un aprovechamiento óptimo del recurso y su protección.

El presente proyecto persigue este fin y por lo tanto tiene asignado los siguientes objetivos:

- ✓ Revisión general y síntesis de los estudios específicos realizados por el IGME sobre las aguas minerales, en relación con el ambiente geológico e hidrogeológico de su localización.
- ✓ Tratamiento geoquímico de los datos analíticos proporcionados por el IGME, a partir de la base de puntos de aguas minerales mediante los programas adecuados. Esta base será revisada y ampliada en lo que se estime necesario.
- ✓ Identificación de zonas en las que existe congruencia entre características geoquímicas de las aguas y geología del entorno. Definición de dominios hidrominerales.
- ✓ Identificación de puntos con características geoquímicas anómalas respecto a la geología del entorno que puedan ser consideradas como singulares, tanto por su composición general (facies hidroquímica) como por el contenido en determinados elementos indicadores de circulación profunda.

- ✓ Elaboración de un mapa de síntesis a nivel nacional, integrado en un sistema de información geográfica que incluya tanto las áreas en las que existe congruencia entre geología y geoquímica de las aguas, como zonas específicas o puntos en los que existen singularidades.

### **3. BASE DE DATOS DE AGUAS MINERALES Y TERMALES DEL IGME (BAM)**

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) dispone de una base de datos de aguas minerales –en adelante BAM–, que incluye la información de inventario y los análisis correspondientes a un total de 2.579 captaciones de agua que responde a esta naturaleza. Dicha base representa la culminación de un proceso que ha supuesto la actualización de la primitiva base con que este organismo contaba –en adelante BAM0–, referida a un total de 324 captaciones y 315 análisis, correspondientes a 133 de esas captaciones.

El referido proceso de actualización ha significado la incorporación a esta base de la información recogida en los estudios realizados sobre este tipo de aguas en las Comunidades Autónomas, en publicaciones de ámbito general y regional y en el archivo de expedientes de solicitud de declaración de agua mineral del IGME, además del cruce con la base de datos EQMAS (*Estado Químico de las Masas de Aguas Subterráneas*), con el fin de añadir los puntos de agua mineral y los correspondientes análisis registrados en esta última no incluidos en la BAM.

Antes de iniciar el proceso de incorporación de nuevos datos, efectuado en sucesivas etapas, la base BAM0 de partida se sometió a una revisión exhaustiva, para analizar en detalle su funcionamiento y estructura, así como la información almacenada en ella. Tras el análisis citado, y teniendo en cuenta el tipo de datos a incluir en la base BAM0 a partir de las fuentes de información previstas, se planteó la necesidad de introducir una serie de cambios en el diseño y el contenido de algunas de las tablas que conforman la base, además de ampliar el número de éstas. A este respecto cabe señalar la actualización de las tablas incluidas en BAM0 correspondientes a las provincias, municipios y Comunidades Autónomas, tomando como referencia las publicadas en 2005 por el *Instituto Nacional de Estadística* (INE), que recogen sus denominaciones actuales y, en el caso de los municipios, los códigos y nombres de los de reciente creación. Asimismo, se han definido nuevos códigos, con sus correspondientes descripciones, en las tablas de la base que hacen referencia al uso y tipo de agua de las captaciones consideradas, así como a las fuentes de la información reflejada en ella, lo que ha supuesto la ampliación del tamaño de uno o varios de los campos existentes en las mismas.

Los cambios más significativos han sido los realizados en la tabla donde se almacenan los datos de inventario de los puntos de aguas minerales (AGMA). Tales cambios se han plasmado en la creación de nuevos campos, en la ampliación del tamaño de algunos de ellos –requerida, en unos casos, por las modificaciones efectuadas en las tablas referidas anteriormente y, en el del campo que recoge observaciones consideradas de interés, por la extensión de los comentarios a incorporar–, y en la revisión de la descripción que figura en el diseño de la misma para cada uno de los campos definidos en ella.

Por lo que a la creación de nuevos campos respecta, hay que señalar la de uno destinado al almacenamiento del código correspondiente a las *masas de agua*, nuevo concepto introducido por la *Directiva Marco del Agua* como unidad geográfica de referencia, que va a sustituir a la actual identificación territorial española por unidades hidrogeológicas. La creación de este campo ha requerido la inclusión de una nueva tabla en la base, en la que figura la definición de las masas delimitadas.

Asimismo, cabe destacar la creación en la tabla AGMA de un total de seis campos, para la carga de los códigos definidos para la clasificación de los expedientes de solicitud para la declaración de la condición mineral de un agua. Cinco de estos seis campos se han previsto para el almacenamiento de los códigos correspondientes a cada tipo de declaración que es posible solicitar –minero-medicinal, mineral natural, de manantial, minero-industrial y termal–, reservándose el sexto para los de expedientes en los que no consta el tipo de declaración solicitada.

Los códigos de expediente constan de nueve caracteres y responden a un formato específico: los tres primeros indican el número de orden asignado a cada expediente en el total de los disponibles para su provincia (no se diferencia el tipo de clasificación solicitada), los dos siguientes reflejan el código de la provincia en cuestión según la correspondiente tabla del INE, y los cuatro últimos corresponden al año del informe emitido por el IGME al respecto de la solicitud cursada.

Por último, se ha incluido en la tabla AGMA un campo en el que reflejar el uso potencial como alguno de los tipos de agua mineral definidos, de las aguas procedentes de los puntos con información susceptible de incorporar a la base, para los que no se dispone de datos acerca de la concesión de declaración para sus aguas.

Una vez revisada la base BAM0 e introducidos en su estructura los cambios descritos, comenzaron los trabajos orientados a su actualización, desarrollados en tres fases, llevadas a cabo de forma sucesiva<sup>1</sup>:

**Fase 1. INCORPORACIÓN A LA BASE BAM0 DE DATOS PROCEDENTES DE LA BASE EQMAS.-** El objetivo de esta fase fue la incorporación a la base de datos de aguas minerales disponible al comienzo de los trabajos (BAM0), de la información referida a puntos caracterizados como de agua mineral en la base de datos EQMAS –*Estado Químico de las Masas de Aguas Subterráneas*–, creada en el marco de los trabajos realizados por el IGME para dar respuestas a los nuevos objetivos y exigencias que, en lo que respecta a las aguas subterráneas, establece la *Directiva Marco del Agua*, para almacenar los datos de inventario y análisis químicos procedentes, en su mayoría, de redes de control de calidad de las aguas subterráneas. Esta actualización ha permitido, además, asociar los puntos cargados en la base a sus respectivas masas de agua para su posterior tratamiento mediante GIS.

Los trabajos realizados consistieron, básicamente, en el cruce de ambas bases a través del campo que incluye el número de registro de cada captación, con objeto de incorporar a la BAM0 nuevos análisis químicos de puntos ya existentes en ella, así como nuevos puntos de agua mineral y sus respectivos análisis no registrados en la misma. La base EQMAS utilizada en el cruce almacenaba 213 puntos de agua mineral con 741 análisis<sup>2</sup>. Se encontró que 109 de esos puntos ya figuraban en BAM0, si bien sólo 232 del total de 455 análisis que constaban en EQMAS para ellos estaban registrados en dicha base, por lo que hubo que incorporar los 223 restantes. Obviamente, a estas incorporaciones se

---

<sup>1</sup> En Asturias y Castilla y León, la secuencia de trabajo sufrió una ligera modificación, ya que finalizada la Fase 3 del proceso de actualización, se dispuso de nuevos documentos sobre las aguas minerales en ambas Comunidades.

<sup>2</sup> Todos los puntos cargados en EQMAS disponen, al menos, de un análisis.

sumaron las de los 104 puntos de agua mineral de EQMAS no incluidos en BAM0 y sus respectivos análisis: 286 en total.

El resultado obtenido fue el paso de una base –BAM0– con 324 puntos y 315 análisis, correspondientes a 133 de esos puntos, a otra ampliada –BAM1–, en la que se incluían los datos de 428 puntos y un total de 824 análisis pertenecientes a 267 de ellos. De acuerdo con estas cifras, resulta que el 24% de las captaciones y el 62% de los análisis almacenados en BAM1 se incorporaron a partir de la base EQMAS.

El mayor número de puntos incorporados –30– correspondió a Cataluña, Comunidad que, por otra parte, contaba en BAM0 con el número más alto de captaciones registradas. En Aragón y País Vasco se contabilizaron 15 incorporaciones y en Galicia, 14. No obstante, fue en el país Vasco donde la adición de nuevos puntos tuvo una mayor repercusión: el 88% de los que figuraban en BAM1 para esta Comunidad los aportó la base EQMAS.

Por lo que respecta a determinaciones analíticas, en Aragón se registró el número más alto de incorporaciones (269), circunstancia que supuso, además, el que esta Comunidad dispusiese de análisis para sus captaciones de agua mineral, ya que las 26 incluidas en BAM0 carecían de ellos.

La base EQMAS no proporcionó información para Baleares, Canarias, Extremadura, Madrid, Murcia, Navarra y La Rioja, de modo que BAM1 carecía de dato alguno para Madrid y de determinaciones analíticas para los puntos de Canarias y Extremadura registrados en BAM0.

El detalle por Comunidad Autónoma del resultado del cruce de las bases BAM0 y EQMAS se recoge en la tabla 1.

CCAA	TOTAL PUNTOS EN BAM0	TOTAL PUNTOS DE AGUA MINERAL REGISTRADOS EN EQMAS Y NO INCLUIDOS EN BAM0	TOTAL PUNTOS EN BAM1	TOTAL ANÁLISIS EN BAM0	ANÁLISIS DE PUNTOS DE BAM0 INCLUIDOS EN EQMAS	ANÁLISIS DE PUNTOS DE AGUA MINERAL REGISTRADOS EN EQMAS Y NO INCLUIDOS EN BAM0	TOTAL ANÁLISIS EN BAM1	Nº PUNTOS CON ANÁLISIS EN BAM1
Andalucía	26	12	38	97	1	13	111	30
Aragón	26	15	41	0	179	90	269	41
Asturias	10	4	14	7	0	4	11	9
Illes Balears	6	0	6	1	0	0	1	1
Canarias	13	0	13	0	0	0	0	0
Cantabria	6	1	7	1	0	1	2	2
Castilla-La Mancha	21	1	22	28	1	2	31	5
Castilla y León	16	1	17	1	0	1	2	2
Cataluña	86	30	116	78	18	129	225	53
Com. Valenciana	20	11	31	7	0	16	23	18
Extremadura	8	0	8	0	0	0	0	0
Galicia	68	14	82	68	21	14	103	82
Madrid	0	0	0	0	0	0	0	0
Murcia	4	0	4	3	1	0	4	2
Navarra	5	0	5	13	0	0	13	3
País Vasco	2	15	17	1	2	16	19	17
La Rioja	7	0	7	10	0	0	10	2
<b>TOTAL</b>	<b>324</b>	<b>104</b>	<b>428</b>	<b>315</b>	<b>223</b>	<b>286</b>	<b>824</b>	<b>267</b>

**Tabla 1.** Actualización de la base BAM0 con información incluida en la base EQMAS. Balance por Comunidad Autónoma.

## **Fase 2. INCORPORACIÓN A LA BASE BAM1 DE DATOS PROCEDENTES DE PUBLICACIONES Y ESTUDIOS SOBRE AGUAS MINERALES EN COMUNIDADES AUTÓNOMAS.**

Tomando la base de datos BAM1, obtenida en la fase anterior, como punto de partida, se procedió a completarla con la información procedente de diversas publicaciones de ámbito general y regional, y de una serie de estudios específicos de las aguas minerales en Comunidades Autónomas, realizados por el IGME y por diversos organismos autonómicos.

En una parte de los referidos estudios, la información requerida está disponible en soporte informático, cargada en bases de datos y hojas de cálculo, encontrándose en el resto reflejada exclusivamente en papel, mediante fichas y/o listados no informatizados cuyos datos fue necesario incorporar manualmente. Los trabajos desarrollados en esta etapa fueron los siguientes:

1. Comprobación de la existencia o no en la base BAM1 de los puntos que figuran en los citados estudios. En el caso de los reflejados en soporte informático, siempre que fue posible fijar un elemento común, se elaboró un listado de los puntos incluidos en ellos para facilitar el cruce automático con la base de referencia; cuando no lo fue, la comparación se realizó individualmente a través de datos como la toponimia, las coordenadas, etc. La comprobación en el caso de los estudios disponibles en papel hubo de realizarse, punto a punto, comparando la información contenida en ellos y en la base.
2. En los puntos comunes a los estudios y la base, se comprobó la coincidencia o no de las determinaciones analíticas aportadas por ambas fuentes. Las que no figuraban en la base BAM1 se incorporaron a ella, así como la totalidad de puntos nuevos y sus respectivos análisis, de forma automática o a través de teclado, según se dispusiese del estudio en soporte informático o papel, respectivamente.

Las previsiones realizadas antes de comenzar los trabajos indicaban un total de 1.248 para el número de los puntos existentes en estos estudios que habrían de procesarse –520 incluidos en estudios reflejados en soporte informático y 728 en estudios en soporte papel– y de 1.628 para el de análisis a tratar –900 y 728 en soporte informático y papel, respectivamente–, cifras que se incrementaron al revisar en profundidad la totalidad de la documentación disponible. La base resultante al concluir esta fase, denominada BAM2, incluía un total de 1.673 puntos de agua mineral y 2.459 análisis. Estas cifras reflejan la incorporación a BAM1 de un total de 1.245 puntos y 1.635 análisis procedentes de estudios y publicaciones relativos a las aguas minerales en España, que ha supuesto, prácticamente, cuadruplicar el número de captaciones y triplicar el de análisis almacenados en la base de aguas minerales. La relación de los referidos documentos se incluye en el apartado de Referencias Bibliográficas.

La publicación *Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización* (IGME, 2001) ha sido el único documento, entre los manejados, de ámbito nacional. El resto, como ya se ha indicado, son estudios y publicaciones específicos de las diferentes Comunidades Autónomas.

En el caso de Baleares, Canarias, Galicia y Madrid, la publicación antes citada ha sido la única fuente de información disponible para trabajar en esta fase de la actualización de la base de datos de aguas minerales. Para Navarra, País Vasco y La Rioja, a los datos de dicha publicación se han de sumar los de inventario y análisis de las captaciones de

agua mineral correspondientes a la Cuenca del Ebro que se incluyen en la *Base de Datos de Aguas* del IGME. Para el resto de Comunidades se ha contado, además, con estudios realizados en su ámbito territorial al respecto de las aguas minerales.

Excluyendo a Madrid –que carecía de datos en BAM1 y en BAM2 cuenta con un punto y su correspondiente análisis–, Murcia, Asturias y Castilla y León fueron las Comunidades donde mayor repercusión tuvo, en lo que a número de captaciones respecta, el tratamiento de la información manejada en esta fase. Por el contrario, Baleares y Navarra no registraron ninguna incorporación. En cuanto a los análisis, esta fase de la actualización supuso que Canarias, Extremadura y Madrid dispusiesen de datos en la base; en el resto de Comunidades, Castilla y León, Murcia, Cantabria y Asturias fueron, por este orden, las que registraron un mayor incremento en el número de análisis almacenados en la base de datos.

La tabla 2 refleja de forma pormenorizada el volumen y el origen de la información incorporada en la base para cada Comunidad Autónoma. En ella se recoge, por un lado, el total de puntos y análisis que potencialmente aporta cada fuente de información y, por otro, la información que, tras la comparación con la base de referencia en cada caso<sup>3</sup>, finalmente se incorpora, diferenciando entre datos de puntos que ya constan esa base y los correspondientes a las captaciones que hay que cargar.

**Fase 3. INCORPORACIÓN A LA BASE BAM2 DE LOS DATOS QUE FIGURAN EN LOS EXPEDIENTES DE DECLARACIÓN EN PODER DEL IGME.-** El objetivo de esta fase fue completar la base de datos BAM2 con los datos de inventario y los análisis químicos que figuran en los expedientes de solicitud para la declaración de la condición mineral de un agua tramitados por el IGME. Esta información, recogida exclusivamente en papel, hubo de incorporarse a la base a través de teclado. El tratamiento al que se sometieron estos datos fue, por tanto, idéntico al descrito en la Fase 2 para el de los incluidos en estudios disponibles en soporte papel.

Se estimó en unos 1.700 el número de puntos existentes y, por tanto, a procesar, en estas declaraciones. El total de puntos y análisis aportados por esta fuente que finalmente se incorporaron a la base BAM2 ascendió a 906 y 1.916 respectivamente, obteniéndose al concluir esta fase, con la que culminó el proceso de actualización de la base de aguas minerales, la denominada BAM3, base en la que figuran los datos de inventario de 2.579 captaciones de agua mineral y un total de 4.375 determinaciones analíticas, correspondientes a 2.126 de los puntos cargados. El paso de la Fase 2 a la Fase 3 ha supuesto, por tanto, multiplicar por 1,5 el número de captaciones con datos en la base de aguas minerales y casi duplicar el de análisis almacenados en ella.

La Comunidad más beneficiada por la incorporación de los datos extraídos de los expedientes de declaración ha sido Madrid, que ha visto enriquecida notablemente su información disponible en la base, tanto en lo que respecta a número de puntos como a

---

<sup>3</sup> El punto de partida de la Fase 2 fue la base BAM1. Esta base se fue enriqueciendo de modo **secuencial** con la información proporcionada por los documentos disponibles para las diferentes Comunidades, de modo que, una vez incluidos los datos contenidos en el primero de los documentos considerados, la nueva base de comparación para determinar la incorporación o no de la información del segundo ya no era BAM1 sino BAM1+DOC1, y así sucesivamente.

	TOTAL PUNTOS	TOTAL ANÁLISIS	PUNTOS CARGADOS EN AGMA DE REFERENCIA			PUNTOS A INCORPORAR EN AGMA DE REFERENCIA		
			TOTAL	ANÁLISIS YA CARGADOS	ANÁLISIS A INCORPORAR	TOTAL	ANÁLISIS A INCORPORAR	
ANDALUCÍA	BAM1	38	111					
	<i>Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía - 1ª Fase (ITGE - Junta de Andalucía, 1990-91) - REF. C-W</i>	311	201	BAM1			BAM1	
				28	10	17	283	174
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	22	22	BAM1 + C-W			BAM1 + C-W	
				20	17	3	2	2
	267	374	BAM1 + C-W + 9-1			BAM1 + C-W + 9-1		
			79	1	136	188	237	
<b>BAM3: TOTAL ANDALUCÍA</b>	<b>511</b>	<b>680</b>						
ARAGÓN	BAM1	41	269					
	<i>Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. Org 1</i>	34	232	BAM1			BAM1	
				34	232	0	0	0
	<i>Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma de Aragón (ITGE - Diputación General de Aragón, 1994) - REF. B-V</i>	114	335	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
				39	85	53	75	190
	31	31	BAM1 + Org 1 + B-V			BAM1 + Org 1 + B-V		
			31	22	8	0	0	
	104	192	BAM1 + Org 1 + B-V + 9-1			BAM1 + Org 1 + B-V + 9-1		
			49	46	45	55	101	
<b>BAM3: TOTAL ARAGÓN</b>	<b>171</b>	<b>666</b>						
PRINCIPADO DE ASTURIAS	BAM1	14	11					
	<i>Estudio del potencial de aguas minerales y termales del Principado de Asturias (IGME - Gobierno del Principado, 2001) - REF. 7-U</i>	164	221	BAM1			BAM1	
				6	6	0	158	215
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	7	7	BAM1 + 7-U			BAM1 + 7-U	
				7	5	2	0	0
	10	11	BAM1 + 7-U + 9-1			BAM1 + 7-U + 9-1		
			3	0	3	7	8	
	8	16	BAM1 + 7-U + 9-1 + A			BAM1 + 7-U + 9-1 + A		
			4	4	8	4	4	
<b>BAM3: TOTAL ASTURIAS</b>	<b>183</b>	<b>251</b>						
ILLES BALEARS	BAM1	6	1					
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	4	4	BAM1			BAM1	
				4	0	4	0	0
	27	75	BAM1 + 9-1			BAM1 + 9-1		
			4	0	52	23	23	
<b>BAM3: TOTAL BALEARES</b>	<b>29</b>	<b>80</b>						

**Tabla 2.** Actualización de la base BAM1 con información aportada por estudios y publicaciones y por expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua. Detalle por Comunidad Autónoma.

	TOTAL PUNTOS	TOTAL ANÁLISIS	PUNTOS CARGADOS EN AGMA DE REFERENCIA			PUNTOS A INCORPORAR EN AGMA DE REFERENCIA		
			TOTAL	ANÁLISIS YA CARGADOS	ANÁLISIS A INCORPORAR	TOTAL	ANÁLISIS A INCORPORAR	
CANARIAS	BAM1	13	0					
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	8	8	BAM1			BAM1	
				5	0	5	3	3
	Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	51	73	BAM1 + 9-1			BAM1 + 9-1	
			6	1	10	45	62	
<b>BAM3: TOTAL CANARIAS</b>	<b>61</b>	<b>80</b>						
CANTABRIA	BAM1	7	2					
	<i>Inventario y caracterización de las aguas termales y minero-medicinales en Cantabria (Diputación Regional de Cantabria, 1987) - REF. H-4</i>	33	41	BAM1			BAM1	
				4	0	9	29	32
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	6	6	BAM1 + H-4			BAM1 + H-4	
				6	1	5	0	0
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	15	10	BAM1 + H-4 + 9-1			BAM1 + H-4 + 9-1		
			5	0	0	10	10	
<b>BAM3: TOTAL CANTABRIA</b>	<b>46</b>	<b>58</b>						
CASTILLA-LA MANCHA	BAM1	22	31					
	<i>Inventario de Yacimientos Hidrominerales de Castilla - La Mancha (Consejería de Industria y Trabajo de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, 2003) - REF. G-S</i>	185	147	BAM1			BAM1	
				5	0	7	180	138
	<i>Estudio de las Aguas Minerales y Termas de Castilla - La Mancha (Consejería de Industria y Turismo de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, Agosto 1990) - REF. F-S</i>	99	99	BAM1 + G-S			BAM1 + G-S	
				96	81	14	3	4
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	11	11	BAM1 + G-S + F-S			BAM1 + G-S + F-S	
			11	4	7	0	0	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	102	111	BAM1 + G-S + F-S + 9-1			BAM1 + G-S + F-S + 9-1		
			51	12	41	51	58	
<b>BAM3: TOTAL CASTILLA-LA MANCHA</b>	<b>256</b>	<b>300</b>						
CASTILLA Y LEÓN	BAM1	17	2					
	<i>Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. Org 1</i>	1	1	BAM1			BAM1	
				1	1	0	0	0
	<i>Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1</i>	12	12	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
				5	0	5	7	7
	Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	154	314	BAM1 + Org 1 + 9-1			BAM1 + Org 1 + 9-1	
			9	0	18	145	296	
<i>Estudio Aguas Minerales en Castilla y León (IGME, 2006) - REF. L-1</i>	295	99	BAM1 + Org 1 + 9-1 + Exp			BAM1 + Org 1 + 9-1 + Exp		
			94	0	24	201	75	
<b>BAM3: TOTAL CASTILLA Y LEÓN</b>	<b>370</b>	<b>427</b>						

**Tabla 2.** Actualización de la base BAM1 con información aportada por estudios y publicaciones y por expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua. Detalle por Comunidad Autónoma. (Continuación)

	TOTAL PUNTOS	TOTAL ANÁLISIS	PUNTOS CARGADOS EN AGMA DE REFERENCIA			PUNTOS A INCORPORAR EN AGMA DE REFERENCIA		
			TOTAL	ANÁLISIS YA CARGADOS	ANÁLISIS A INCORPORAR	TOTAL	ANÁLISIS A INCORPORAR	
CATALUÑA	BAM1	116	225					
		12	30	BAM1			BAM1	
	Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuencas del Ebro e Internas de Cataluña) - REF. Org 1	57	163	12	30	0	0	0
		69	193	39	162	1	18	0
			51	192	1	18	0	
	Estudio para la evaluación de las aguas minero-medicinales, minerales naturales, de manantial, termales y minero-industriales en el territorio de Catalunya (ITGE - Generalitat de Catalunya, 1995-96) - REF. D-X	115	247	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
				75	122	121	34	4
Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	41	41	BAM1 + Org 1 + D-X			BAM1 + Org 1 + D-X		
			35	15	20	6	6	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	171	385	BAM1 + Org 1 + D-X + 9-1			BAM1 + Org 1 + D-X + 9-1		
			66	138	100	105	147	
<b>BAM3: TOTAL CATALUÑA</b>	<b>279</b>	<b>624</b>						
COMUNIDAD VALENCIANA	BAM1	31	23					
	Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Primera Fase (ITGE - Generalitat Valenciana, 1989) - REF. I-Z	52	80	BAM1			BAM1	
				10	0	26	42	54
	Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Segunda Fase (ITGE - Generalitat Valenciana, 1990) - REF. J-Z	56	94	BAM1 + I-Z			BAM1 + I-Z	
				12	1	20	44	74
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	19	19	BAM1 + I-Z + J-Z			BAM1 + I-Z + J-Z	
9				1	8	10	10	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	93	199	BAM1 + I-Z + J-Z + 9-1			BAM1 + I-Z + J-Z + 9-1		
			27	14	47	66	138	
<b>BAM3: TOTAL VALENCIA</b>	<b>193</b>	<b>400</b>						
EXTREMADURA	BAM1	8	0					
	Recursos Mineros de Extremadura: Las Aguas Minerales (Junta de Extremadura, 2003) - REF. 8-S	50	47	BAM1			BAM1	
				6	0	6	44	40
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	8	8	BAM1 + 8-S			BAM1 + 8-S	
				7	0	7	1	1
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	15	15	BAM1 + 8-S + 9-1			BAM1 + 8-S + 9-1		
			6	0	6	9	9	
<b>BAM3: TOTAL EXTREMADURA</b>	<b>62</b>	<b>69</b>						
GALICIA	BAM1	82	103					
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	41	75	BAM1			BAM1	
				27	30	28	14	15
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	133	158	BAM1 + 9-1			BAM1 + 9-1		
			35	10	64	108	123	
<b>BAM3: TOTAL GALICIA</b>	<b>204</b>	<b>333</b>						

**Tabla 2.** Actualización de la base BAM1 con información aportada por estudios y publicaciones y por expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua. Detalle por Comunidad Autónoma. (Continuación)

	TOTAL PUNTOS	TOTAL ANÁLISIS	PUNTOS CARGADOS EN AGMA DE REFERENCIA			PUNTOS A INCORPORAR EN AGMA DE REFERENCIA		
			TOTAL	ANÁLISIS YA CARGADOS	ANÁLISIS A INCORPORAR	TOTAL	ANÁLISIS A INCORPORAR	
COMUNIDAD DE MADRID	BAM1	0	0					
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	1	1	BAM1			BAM1	
				0	0	0	1	1
	Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	56	67	BAM1 + 9-1			BAM1 + 9-1	
			1	0	1	55	66	
<b>BAM3: TOTAL MADRID</b>	<b>56</b>	<b>68</b>						
REGIÓN DE MURCIA	BAM1	4	4					
	Estudio de las Aguas Minerales y Termales de la Región de Murcia (IGME - Región de Murcia, 2000) - REF. E-Y	86	163	BAM1			BAM1	
				4	0	5	82	158
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	7	8	BAM1 + E-Y			BAM1 + E-Y	
				7	3	5	0	0
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	38	40	BAM1 + E-Y + 9-1			BAM1 + E-Y + 9-1		
			29	15	16	9	9	
<b>BAM3: TOTAL MURCIA</b>	<b>95</b>	<b>197</b>						
COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA	BAM1	5	13					
	Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. Org 1	3	13	BAM1			BAM1	
				3	13	0	0	0
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	4	4	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
			4	0	4	0	0	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	12	52	BAM1 + Org 1 + 9-1			BAM1 + Org 1 + 9-1		
			2	0	26	10	26	
<b>BAM3: TOTAL NAVARRA</b>	<b>15</b>	<b>69</b>						
PAÍS VASCO	BAM1	17	19					
	Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. Org 1	1	2	BAM1			BAM1	
				1	2	0	0	0
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	4	4	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
			1	0	1	3	3	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	19	21	BAM1 + Org 1 + 9-1			BAM1 + Org 1 + 9-1		
			1	0	1	18	20	
<b>BAM3: TOTAL PAÍS VASCO</b>	<b>38</b>	<b>44</b>						
LA RIOJA	BAM1	7	10					
	Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. Org 1	2	10	BAM1			BAM1	
				2	10	0	0	0
	Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1	2	2	BAM1 + Org 1			BAM1 + Org 1	
			1	0	1	1	1	
Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A	4	17	BAM1 + Org 1 + 9-1			BAM1 + Org 1 + 9-1		
			2	0	13	2	4	
<b>BAM3: TOTAL LA RIOJA</b>	<b>10</b>	<b>29</b>						

**Tabla 2.** Actualización de la base BAM1 con información aportada por estudios y publicaciones y por expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua. Detalle por Comunidad Autónoma. (Continuación)

número de análisis. Los datos asociados a Baleares, Canarias y Navarra también han registrado incrementos notables en esta fase con respecto a la anterior. El detalle por Comunidad Autónoma del tratamiento de la información contenida en los expedientes se recoge en la tabla 2.

El total de expedientes clasificados asciende a 1.389; la cifra correspondiente a cada Comunidad Autónoma y provincia se recoge en la tabla 3. Destaca Granada, con 113 expedientes, seguida de Girona con 104 y, a mayor distancia, Valencia y Jaén con 65 cada una. Huelva con 2 y Cáceres y Vizcaya con 3 son las provincias que registran el menor número de solicitudes para la declaración de la condición mineral de un agua.

Cada expediente se ha incluido en una carpeta, rotulada con el código asignado en cada caso, almacenándose las correspondientes a cada provincia en archivadores convenientemente etiquetados. Como ya se indicó con anterioridad, el número de orden que figura en los códigos de expediente es correlativo en cada provincia, sin establecerse distinción alguna entre los correspondientes a cada tipo de declaración solicitada (minero-medicinal, mineral natural, de manantial, minero-industrial o termal). Tal diferenciación, no obstante, sí tiene reflejo en la base de datos, ya que, según se trate de una u otra, la carga del referido código debe realizarse en el respectivo campo creado para cada una de ellas.

Concluida la actualización, se completó la asociación de los puntos incluidos en la base BAM3 a sus respectivas masas de agua, ya realizada para los que figuraban en la base BAM1 obtenida en la Fase 1.

El proceso de actualización descrito se refleja de forma esquemática en la figura 1. La tabla 4 recoge un balance relativo al volumen y origen de la información implicada en cada fase de este proceso, en lo que respecta a previsiones iniciales, aportación de las fuentes consultadas e incorporaciones a la base. En esta tabla, junto a cada fuente de información, se indica el código utilizado para la carga en la base de las correspondientes referencias bibliográficas (título del estudio o denominación asignada a la fuente y organismo instructor).



**Figura 1.** Actualización de la base de datos de aguas minerales. Fases del proceso.

COMUNIDAD AUTÓNOMA		PROVINCIA		
Denominación	Nº expedientes	Código INE	Denominación	Nº expedientes
Andalucía	278	04	Almería	16
		11	Cádiz	23
		14	Córdoba	18
		18	Granada	113
		21	Huelva	2
		23	Jaén	65
		29	Málaga	36
Aragón	116	41	Sevilla	5
		22	Huesca	51
		44	Teruel	39
Principado de Asturias	12	50	Zaragoza	26
Principado de Asturias	12	33	Asturias	12
Illes Balears	28	07	Balears (Illes)	28
Canarias	64	35	Palmas (Las)	57
		38	Santa Cruz de Tenerife	7
Cantabria	20	39	Cantabria	20
Castilla-La Mancha	108	02	Albacete	31
		13	Ciudad Real	14
		16	Cuenca	17
		19	Guadalajara	11
		45	Toledo	35
Castilla y León	157	05	Ávila	18
		09	Burgos	19
		24	León	37
		34	Palencia	14
		37	Salamanca	19
		40	Segovia	15
		42	Soria	11
		47	Valladolid	16
		49	Zamora	8
Cataluña	203	08	Barcelona	38
		17	Girona	104
		25	Lleida	33
		43	Tarragona	28
Comunidad Valenciana	96	03	Alicante	13
		12	Castellón	18
		46	Valencia	65
Extremadura	15	06	Badajoz	12
		10	Cáceres	3
Galicia	157	15	Coruña (A)	19
		27	Lugo	47
		32	Ourense	58
		36	Pontevedra	33
Comunidad de Madrid	51	28	Madrid	51
Región de Murcia	43	30	Murcia	43
Comunidad Foral de Navarra	13	31	Navarra	13
País Vasco	22	01	Álava	10
		20	Guipúzcoa	9
		48	Vizcaya	3
La Rioja	6	26	Rioja (La)	6
<b>TOTAL EXPEDIENTES CLASIFICADOS</b>		<b>1.389</b>		

**Tabla 3.** Expedientes de solicitud de declaración de agua mineral clasificados por provincia y Comunidad Autónoma

FUENTES DE INFORMACIÓN		VOLUMEN DE INFORMACIÓN						
		SEGÚN PREVISIONES		APORTADA POR FUENTES		CARGADA		
		Nº PUNTOS	Nº ANALISIS	Nº PUNTOS	Nº ANALISIS	Nº PUNTOS	Nº ANALISIS	
FASE 1	BAM0	324	315	324	315	324	315	
	EQMAS - REF. 6-T	187	645	213	741	104	509	
	<b>TOTAL</b>	<b>511</b>	<b>960</b>	<b>537</b>	<b>1.056</b>	<b>428</b>	<b>824</b>	
FASE 2: PUBLICACIONES Y ESTUDIOS	FASE 2.1: SOPORTE INFORMÁTICO	Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca del Ebro) - REF. 1 (Organismo)	520	900	53	288	0	0
		Base de Datos del IGME (Ficheros AGMA y AGAQ - Cuenca Internas de Cataluña) - REF. 1 (Organismo)			57	163	18	1
		Estudio del potencial de aguas minerales y termales del Principado de Asturias (IGME - Gobierno del Principado, 2001) - REF. 7-U			164	221	158	215
		Inventario de Yacimientos Hidrominerales de Castilla - La Mancha (Consejería de Industria y Trabajo de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, 2003) - REF. G-S			185	147	180	145
		Estudio Aguas Minerales en Castilla y León (IGME, 2006) - REF. L-1			295	99	201	99
		Las Aguas Minerales en España: Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización (IGME, 2001) - REF. 9-1			228	263	48	162
		<b>TOTAL</b>			<b>520</b>	<b>900</b>	<b>982</b>	<b>1.181</b>
FASE 2: PUBLICACIONES Y ESTUDIOS	FASE 2.2: SOPORTE PAPEL	Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía - 1ª Fase (ITGE - Junta de Andalucía, 1990-91) - REF. C-W	728	728	311	201	283	191
		Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma de Aragón (ITGE - Diputación General de Aragón, 1994) - REF. B-V			114	335	75	243
		Estudio y evaluación del estado actual de las aguas minero-medicinales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias. Reconocimientos hidrogeológicos detallados (ITGE - Gobierno del Principado, 1995) - REF. K-U			8	16	4	12
		Inventario y caracterización de las aguas termales y minero-medicinales en Cantabria (Diputación Regional de Cantabria, 1987) - REF. H-4			33	41	29	41
		Estudio de las Aguas Minerales y Termales de Castilla - La Mancha (Consejería de Industria y Turismo de la Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha, Agosto 1990) - REF. F-S			99	99	3	18
		Estudio para la evaluación de las aguas minero-medicinales, minerales naturales, de manantial, termales y minero-industriales en el territorio de Catalunya (ITGE - Generalitat de Catalunya, 1995-96) - REF. D-X			115	247	34	125
		Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Primera Fase (ITGE - Generalitat Valenciana, 1989) - REF. I-Z			52	80	42	80
		Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Segunda Fase (ITGE - Generalitat Valenciana, 1990) - REF. J-Z			56	94	44	94
		Recursos Mineros de Extremadura: Las Aguas Minerales (Junta de Extremadura, 2003) - REF. 8-S			50	47	44	46
		Estudio de las Aguas Minerales y Termales de la Región de Murcia (IGME - Región de Murcia, 2000) - REF. E-Y			86	163	82	163
		<b>TOTAL</b>			<b>728</b>	<b>728</b>	<b>924</b>	<b>1.323</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.248</b>	<b>1.628</b>	<b>1.906</b>	<b>2.504</b>	<b>1.245</b>	<b>1.635</b>		
FASE 3: EXPEDIENTES		Expedientes para la declaración de la condición mineral de un agua - REF. A (Bibliografía)	1.700	1.700	1.271	2.114	906	1.916
		<b>TOTAL</b>	<b>1.700</b>	<b>1.700</b>	<b>1.271</b>	<b>2.114</b>	<b>906</b>	<b>1.916</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3.459</b>	<b>4.288</b>	<b>3.714</b>	<b>5.674</b>	<b>2.579</b>	<b>4.375</b>	

Tabla 4. Actualización de la base de datos de aguas minerales. Volumen y origen de la información tratada por fases.

La heterogeneidad de la información manejada y, en muchos casos, la ausencia de elementos comunes que facilitasen la identificación entre datos aportados por diferentes fuentes, con objeto de evitar, en la medida de lo posible, la duplicidad de puntos y/o análisis en las bases sucesivamente obtenidas, hicieron necesaria la adopción de una serie de criterios y normas generales de aplicación en la carga de datos.

El balance de los resultados obtenidos en el proceso de actualización de la base de datos de aguas minerales del IGME puede resumirse en los siguientes términos:

- La base de partida, BAM0, constaba de un total de 324 puntos y 315 análisis, pertenecientes a 133 de los puntos cargados en ella. La base final obtenida al concluir los trabajos de actualización realizados, BAM3, incluye 2.579 puntos –2.126 de ellos con, al menos, un análisis– y 4.375 determinaciones analíticas.
- Los estudios y publicaciones utilizados en la Fase 2 del proceso de actualización constituyen la fuente de información que mayor volumen de datos ha aportado para enriquecer la base BAM0 de partida, tanto en lo que respecta a número de captaciones como de análisis: casi la mitad de los puntos –en concreto, el 48%– y el 37% de los análisis almacenados en ella proceden de los citados documentos. Por el contrario, a la base EQMAS corresponde la menor aportación a BAM3: 104 puntos y 509 análisis.
- Si se consideran por separado los documentos en soporte informático y en papel revisados en la Fase 2, la mayor aportación a la base final corresponde a la documentación de expedientes para la solicitud de la condición mineral de un agua: 906 captaciones y 1.916 determinaciones analíticas.

El balance general por Comunidad Autónoma del enriquecimiento sucesivo en el número de datos que ha supuesto el desarrollo de las diferentes fases del proceso de actualización se resume en la tabla 5.

CCAA	BAM0			BAM1 = BAM0 + EQMAS			BAM2 = BAM1 + ESTUDIOS			BAM3 = BAM2 + EXPEDIENTES		
	Nº PUNTOS	Nº ANÁLISIS	Nº PUNTOS CON ANÁLISIS	Nº PUNTOS	Nº ANÁLISIS	Nº PUNTOS CON ANÁLISIS	Nº PUNTOS	Nº ANÁLISIS	Nº PUNTOS CON ANÁLISIS	Nº PUNTOS	Nº ANÁLISIS	Nº PUNTOS CON ANÁLISIS
Andalucía	26	97	18	38	111	30	323	307	222	511	680	400
Aragón	26	0	0	41	269	41	116	520	114	171	666	168
Asturias	10	7	5	14	11	9	176	240	172	183	251	179
Illes Balears	6	1	1	6	1	1	6	5	1	29	80	28
Canarias	13	0	0	13	0	0	16	8	3	61	80	52
Cantabria	6	1	1	7	2	2	36	48	30	46	58	45
Castilla-La Mancha	21	28	3	22	31	5	205	201	161	256	300	212
Castilla y León	16	1	1	17	2	2	225	113	83	370	427	231
Cataluña	86	78	21	116	225	53	174	377	75	279	624	196
Com. Valenciana	20	7	7	31	23	18	127	215	99	193	400	163
Extremadura	8	0	0	8	0	0	53	54	43	62	69	58
Galicia	68	68	68	82	103	82	96	146	96	204	333	196
Madrid	0	0	0	0	0	0	1	1	1	56	68	55
Murcia	4	3	2	4	4	2	86	172	77	95	197	87
Navarra	5	13	3	5	13	3	5	17	3	15	69	13
País Vasco	2	1	1	17	19	17	20	23	20	38	44	37
La Rioja	7	10	2	7	10	2	8	12	3	10	29	6

**Tabla 5.** Actualización de la base de datos de aguas minerales. Balance por Comunidad Autónoma.

Cabe mencionar el hecho de que, como consecuencia de los trabajos realizados, en la base final, BAM3, se dispone para todas las Comunidades Autónomas de información al respecto de las aguas minerales captadas en su territorio.

Según puede apreciarse en la referida tabla, ahora es posible la consulta de información analítica y de inventario para Comunidades que contaban con la de un solo tipo en la base de partida –Aragón, Canarias y Extremadura– o que carecían de datos en la misma –Comunidad de Madrid–.

El balance general de los resultados obtenidos en cada fase del proceso de actualización se refleja en la tabla 6.

Base	Nº Puntos	Nº Análisis	Nº Puntos con Análisis
BAM0	324	315	133
BAM1	428	824	267
BAM2	1.673	2.459	1.203
BAM3	2.579	4.375	2.126

**Tabla 6.** Actualización de la base de datos de aguas minerales. Balance general.

## **4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS MINERALES. MAPAS DE FACIES HIDROQUÍMICAS.**

El conjunto de información analítica incluido en la base de datos de aguas minerales del IGME que se acaba de exponer en el capítulo anterior, denominada BAM3, ha sido sometido a tratamiento geoquímico y estadístico con la finalidad de obtener un conocimiento amplio de la composición físico-química de las aguas minerales de España. Como se ha indicado, se dispone de información analítica –al menos un análisis– de 2.126 puntos de agua, lo que representa el 82,4% del total de 2.579 puntos incluidos en la base de datos BAM3.

El tratamiento geoquímico básico realizado ha tenido como objetivo definir para cada punto de agua con análisis, su facies hidrogeoquímica o tipo de composición química. Ello significa por lo tanto que ha sido necesario calcular la concentración relativa de los aniones y cationes mayoritarios, es decir, bicarbonatos, carbonatos, sulfatos y cloruros entre los aniones y calcio, magnesio, sodio y potasio entre los cationes. Por ello, para asignar facies hidrogeoquímicas a un punto determinado era necesario que su análisis correspondiente dispusiera de un valor para cada uno de los ocho iones mayoritarios citados. Esta premisa ha dado lugar a una reducción en el número total de puntos de la base de datos BAM3 a los que se ha podido asignar una facies hidrogeoquímica. De los 2.126 puntos con al menos un análisis de agua, se ha podido asignar facies a 1.774, es decir, 83,6%.

En la asignación de facies o denominación del tipo de composición química del agua se ha seguido el criterio más habitualmente utilizado de nombrar el agua por el anión y el catión que sobrepasan el 50% de la suma respectiva de aniones y cationes mayoritarios. En caso de que ningún anión o catión supere este 50%, se nombra a los dos más abundantes, poniendo en primer lugar el mayor de ellos.

Con este criterio se han podido formar un total de 78 grupos o facies diferentes: 28 grupos de aguas bicarbonatadas o con el anión bicarbonato predominante que se presentan en la tabla 7, 24 grupos de aguas cloruradas o con el anión cloruro predominante, que se presenta en la tabla 8, y finalmente 26 grupos de aguas sulfatadas o con el anión sulfato predominante, que se presenta en la tabla 9.

En estas tablas, junto a la denominación de las facies, se presenta el número de puntos integrados en el grupo y por lo tanto, con dicha denominación y el porcentaje respecto del total. De los 1.774 puntos con facies hidrogeoquímica asignada, 1.191 son bicarbonatadas y representan el 67,14%, 311 son cloruradas y representan el 17,53% y 272 son sulfatadas representando el 15,33%.

De entre estos 78 grupos o facies hidrogeoquímicas diferentes existen 16 facies que superan individualmente el 1% de los puntos de aguas total, es decir, al menos 17 puntos. En la tabla 10 se presentan estos 16 grupos o facies hidrogeoquímicas, que en conjunto representan a 1.437 puntos de agua, es decir, el 81% de todas los puntos con facies hidrogeoquímica asignada.

Facies Hidroquímica	Nº Puntos	Porcentaje
Bicarbonatada cálcica	501	28,24
Bicarbonatada cálcico - magnésica	79	4,45
Bicarbonatada cálcico - sódica	34	1,92
Bicarbonatada - clorurada cálcica	10	0,56
Bicarbonatada - clorurada cálcico - magnésica	7	0,39
Bicarbonatada - clorurada cálcico - sódica	8	0,45
Bicarbonatada - clorurada magnésica	10	0,56
Bicarbonatada - clorurada magnésico - cálcica	7	0,39
Bicarbonatada - clorurada magnésico - sódica	7	0,39
Bicarbonatada - clorurada sódica	27	1,52
Bicarbonatada - clorurada sódico - cálcica	4	0,23
Bicarbonatada - clorurada sódico - magnésica	5	0,28
Bicarbonatada magnésica	129	7,27
Bicarbonatada magnésico - cálcica	53	2,99
Bicarbonatada magnésico - potásica	1	0,06
Bicarbonatada magnésico - sódica	18	1,01
Bicarbonatada potásica	1	0,06
Bicarbonatada sódica	173	9,75
Bicarbonatada sódico - cálcica	20	1,13
Bicarbonatada sódico - magnésica	28	1,58
Bicarbonatada - sulfatada cálcica	25	1,41
Bicarbonatada - sulfatada cálcico - magnésica	9	0,51
Bicarbonatada - sulfatada cálcico - sódica	2	0,11
Bicarbonatada - sulfatada magnésica	8	0,45
Bicarbonatada - sulfatada magnésico - cálcica	8	0,45
Bicarbonatada - sulfatada magnésico - sódica	3	0,17
Bicarbonatada - sulfatada sódica	12	0,68
Bicarbonatada - sulfatada sódico - magnésica	2	0,11
<b>TOTAL.....</b>	<b>1.191</b>	<b>67,14</b>

**Tabla 7.** Relación de facies de aguas bicarbonatadas o con anión bicarbonato predominante

Facies Hidroquímica	Nº Puntos	Porcentaje
Clorurada - bicarbonatada cálcica	1	0,06
Clorurada - bicarbonatada cálcico - magnésica	3	0,17
Clorurada - bicarbonatada cálcico - sódica	6	0,34
Clorurada - bicarbonatada magnésica	2	0,11
Clorurada - bicarbonatada magnésico - cálcica	2	0,11
Clorurada - bicarbonatada magnésico - sódica	1	0,06
Clorurada - bicarbonatada sódica	15	0,85
Clorurada - bicarbonatada sódico - cálcica	5	0,28
Clorurada - bicarbonatada sódico - magnésica	8	0,45
Clorurada cálcica	5	0,28
Clorurada cálcico - magnésica	1	0,06
Clorurada cálcico - sódica	3	0,17
Clorurada magnésica	12	0,68
Clorurada magnésico - sódica	2	0,11
Clorurada sódica	194	10,94
Clorurada sódico - cálcica	14	0,79
Clorurada sódico - magnésica	15	0,85
Clorurada - sulfatada cálcica	1	0,06
Clorurada - sulfatada cálcico - sódica	3	0,17
Clorurada - sulfatada magnésica	2	0,11
Clorurada - sulfatada magnésico - sódica	2	0,11
Clorurada - sulfatada sódica	7	0,39
Clorurada - sulfatada sódico - cálcica	3	0,17
Clorurada - sulfatada sódico - magnésica	4	0,23
<b>TOTAL...</b>	<b>311</b>	<b>17,53</b>

**Tabla 8.** Relación de facies de aguas cloruradas o con anión cloruro predominante

Facies Hidroquímica	Nº Puntos	Porcentaje
Sulfatada - bicarbonatada cálcica	21	1,18
Sulfatada - bicarbonatada cálcico - magnésica	19	1,07
Sulfatada - bicarbonatada cálcico - sódica	1	0,06
Sulfatada - bicarbonatada magnésica	4	0,23
Sulfatada - bicarbonatada magnésico - cálcica	4	0,23
Sulfatada - bicarbonatada sódica	5	0,28
Sulfatada - bicarbonatada sódico - cálcica	1	0,06
Sulfatada - bicarbonatada sódico - magnésica	1	0,06
Sulfatada cálcica	91	5,13
Sulfatada cálcico - magnésica	17	0,96
Sulfatada cálcico - sódica	13	0,73
Sulfatada - clorurada cálcica	3	0,17
Sulfatada - clorurada cálcico - magnésica	4	0,23
Sulfatada - clorurada cálcico - potásica	1	0,06
Sulfatada - clorurada cálcico - sódica	8	0,45
Sulfatada - clorurada magnésico - cálcica	1	0,06
Sulfatada - clorurada magnésico - sódica	1	0,06
Sulfatada - clorurada sódica	8	0,45
Sulfatada - clorurada sódico - cálcica	4	0,23
Sulfatada - clorurada sódico - magnésica	5	0,28
Sulfatada magnésica	25	1,41
Sulfatada magnésico - cálcica	4	0,23
Sulfatada magnésico - sódica	4	0,23
Sulfatada sódica	14	0,79
Sulfatada sódico - cálcica	5	0,28
Sulfatada sódico - magnésica	8	0,45
<b>TOTAL...</b>	<b>272</b>	<b>15,33</b>

**Tabla 9.** Relación de facies de aguas sulfatadas o con anión sulfato predominante

	Facies Hidroquímica	Nº Puntos	Porcentaje
1	Bicarbonatada cálcica	501	28,24
2	Clorurada sódica	194	10,94
3	Bicarbonatada sódica	173	9,75
4	Bicarbonatada magnésica	129	7,27
5	Sulfatada cálcica	91	5,13
6	Bicarbonatada cálcico - magnésica	79	4,45
7	Bicarbonatada magnésico - cálcica	53	2,99
8	Bicarbonatada cálcico - sódica	34	1,92
9	Bicarbonatada sódico - magnésica	28	1,58
10	Bicarbonatada - clorurada sódica	27	1,52
11	Bicarbonatada - sulfatada cálcica	25	1,41
12	Sulfatada magnésica	25	1,41
13	Sulfatada - bicarbonatada cálcica	21	1,18
14	Bicarbonatada sódico - cálcica	20	1,13
15	Sulfatada - bicarbonatada cálcico - magnésica	19	1,07
16	Bicarbonatada magnésico - sódica	18	1,01
	<b>TOTAL</b>	<b>1.437</b>	<b>81,00</b>

**Tabla 10.** Relación de facies de aguas que superan individualmente el 1% de los puntos de aguas total

Dado el elevado número de facies diferentes, para su representación en mapas de facies hidrogeoquímicas se ha llevado a cabo una simplificación escogiendo como más representativos los cinco principales grupos o facies hidrogeoquímicas, que por otra parte son los que superan individualmente el número de puntos asignados en el 5% total. A cada uno de estos cinco grupos o facies se les ha añadido aquellos en los que sus aniones y cationes dominantes, coinciden con la denominación del grupo correspondiente.

Es decir, al grupo de aguas bicarbonatadas cálcicas se han añadido todas las que el anión dominante es bicarbonato y el catión dominante es calcio. Y así para los otros cuatro grupos. De esta manera se ha elaborado la tabla 11 con las cinco facies ampliadas, que en total agrupan 1.626 puntos, lo que representa el 91,66 % del total de puntos con facies asignados.

Las aguas bicarbonatadas representan el 67,14% de todas las aguas incluidas en la base de aguas minerales BAM3 y a las que se le ha podido asignar facies hidrogeoquímica, siendo las cálcicas el 38,05%, las sódicas el 15,33% y, finalmente, las magnésicas el 13,76%. Las aguas cloruradas representan en total el 17,53%, y dentro de ellas las cloruradas sódicas, alcanzan el 14,94%, siendo el 2,59% restante aguas de tipo clorurado pero con cationes dominantes diferentes del sodio. Finalmente las aguas sulfatadas representa el 15,33% del total, siendo las sulfatadas cálcicas las más abundantes con el 9,58%.

Facies Ampliada	Nº Puntos	Porcentaje
Bicarbonatada cálcica	675	38,05
Bicarbonatada sódica	272	15,33
Clorurada sódica	265	14,94
Bicarbonatada magnésica	244	13,76
Sulfatada cálcica	170	9,58

**Tabla 11.** Relación de facies de aguas más representativas

Estos cinco grupos de aguas se han representado individualmente en mapas con la finalidad de plasmar en los mismos la distribución geográfica de estas facies hidrogeoquímicas y su posible relación con las formaciones geológicas presentes en el subsuelo.

En la figura 2 se presenta el mapa de distribución de los puntos de la base de aguas minerales, pertenecientes al primero de los grupos reseñados, las aguas bicarbonatadas cálcicas en el sentido en que se han definido anteriormente. Dado que ésta es, en general, la composición de las aguas que se infiltran en el subsuelo y alcanzan las formaciones acuíferas, representan el grupo más numeroso y se extienden por casi toda la península, con la salvedad de los terrenos pertenecientes al macizo hercínico situado en el oeste y noroeste, las depresiones terciarias del Ebro y del Guadalquivir y la zona más interna de las Cordilleras Béticas en el sureste peninsular. Se presentan, sobre todo, en las cordilleras con abundante presencia de materiales carbonatados, como Cantábrica, Pirenaica, Ibérica, Costero-Catalanas, áreas externas de las Béticas, Sierra Norte de Mallorca, o bien en las cuencas del Duero, Tajo y Guadiana.

En la figura 3 se presenta el mapa de distribución de los puntos de la base de aguas minerales, pertenecientes al grupo de las aguas bicarbonatadas magnésicas. En general, su presencia se incluye en ámbitos ya mencionados para el grupo anterior, en los que existe un predominio de las dolomías o de las calizas dolomíticas sobre las calizas, o bien materiales carbonatados sometidos a procesos de metamorfismo como los mármoles. Este grupo de aguas se pueden considerar como una evolución química de las pertenecientes al grupo anterior tras su circulación por los materiales mencionados. Entre las zonas se pueden destacar la parte más occidental de la Cordillera Cantábrica, algunas áreas de la Cordillera Bética como las sierras occidentales de la provincia de Málaga, las sierras Alpujárrides de Granada y Almería así como la zona más oriental del Prebético, y finalmente algunas áreas de origen volcánico al sur de Ciudad Real y en Gran Canaria.

En la figura 4 se presenta el mapa de distribución de las aguas pertenecientes al grupo de facies bicarbonatada sódica, que es el segundo grupo más numeroso de aguas minerales. Esta facies o composición se origina como una evolución de las aguas de infiltración, en las que se produce la sustitución del catión Ca por el Na. El gran ámbito geológico de presencia de esta facies es el macizo hercínico, sobre todo en las áreas de predominio de rocas graníticas y metamórficas del Paleozoico, y en menor dimensión en las zonas graníticas del núcleo de la

Figura 2

Figura 3

Figura 4

cordillera pirenaica, de la cordillera prelitoral catalana y de la provincia de Gerona. También es la facies dominante en las aguas minerales de áreas volcánicas como Tenerife, Gran Canaria y sur de Ciudad Real.

El grupo de las aguas con facies hidroquímica clorurada sódica se extiende por amplias zonas de la península, que se presentan en la figura 5. Su densidad es mayor en áreas próximas a la costa o bien en zonas geológicas con predominio de materiales triásicos de origen evaporítico. Entre las zonas marcadas cabe destacar una gran franja norte-sur en Galicia, desde las aguas de los balnearios de Arteixo y Carballo en el norte, las de La Toja o Caldas de Rey en el oeste, de Pontevedra y Caldelas de Tuy en el sur, todas ellas con salinidad relativamente elevada o muy elevada y un origen ligado al agua de mar. Existe dentro de esta franja un número elevado de puntos de agua clorurada sódica con una conductividad muy baja, poco mineralizadas, cuyo contenido en ClNa debe encontrarse ya en el agua de infiltración, procedente de los aerosoles marinos que se incorporan al agua de lluvia en zonas costeras. Este mismo origen tiene el grupo delimitado en Asturias. Sin embargo, las restantes áreas señaladas en dicha figura están ligadas a materiales salinos de las evaporitas triásicas, cuyo lixiviado por aguas de infiltración incorporan a las mismas el ClNa. Así, las masas salinas de Cantabria o las presentes en el frente de contacto entre la Cordillera Bética y la depresión del Guadalquivir o el amplio dominio de los materiales triásicos de la Cordillera Ibérica, tanto en su vertiente norte de la Cuenca del Ebro como en su vertiente occidental de las cuencas del Tajo y Júcar, a los que geográficamente se unen las masas salinas del interior de Murcia y Alicante.

Finalmente, en la figura 6 se presentan las áreas de predominio de las aguas con facies sulfatada cálcica. En general este tipo de facies se origina por el lixiviado de evaporitas terrestres –yesos y anhidritas– presentes fundamentalmente en materiales del Triásico o de Cuencas Terciarias. Las zonas delimitadas por mayor densidad de puntos con este tipo de facies se encuentran en el área costera de Asturias entre Gijón y Villaviciosa, en la Sierra de Alcaraz en la base del mesozoico de la Meseta, al sur de la depresión del Guadalquivir en las masas evaporíticas ligadas al frente Subbético y los Alpujárrides de la provincia de Granada donde la fuerte fracturación permite una circulación muy profunda de las aguas que se pone en contacto con capas de yesos infrayacentes y, por último, en una muy extensa zona donde se encuentran los materiales triásicos del nordeste de la Cordillera Bética –provincias de Murcia y Alicante–, los de la Cordillera Ibérica en sus dos vertientes nordeste y suroeste y los del interior de la provincia de Valencia y sur de Castellón.

Figura 5

Figura 6

## **5. MAPA DE DOMINIOS HIDROMINERALES**

Tomando como base los mapas de distribución de facies hidroquímicas, descritos anteriormente y su relación con la geología del entorno, se han definido diferentes dominios hidrominerales. Estos dominios constituyen conjuntos de formaciones geológicas relacionadas entre sí geográfica y estratigráficamente, que engloban materiales cuya litología y estructura permite el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas con características físico-químicas similares entre sí de forma que, en cada uno de dichos dominios, predominan determinadas facies hidrogeoquímicas.

Con estos criterios de uniformidad litoestratigráfica e hidrogeoquímica se han delimitado un total de 14 dominios hidrominerales, de muy diferente dimensión, origen geológico y características hidroquímicas.

En la figura 7 se presenta un mapa de representación de estos dominios y una descripción resumida y esquemática de sus características.

A continuación se describen brevemente estos dominios hidrominerales.

### **Dominio 1. MACIZO HERCÍNICO**

A pesar de su extensión presenta una gran uniformidad. Ocupa la mayor parte de la mitad occidental de la Península Ibérica. Toda Galicia, la zona occidental de la cuenca del Duero –Zamora y Salamanca–, Extremadura, el Sistema Central, Montes de Toledo, Sierra Morena y la provincia de Huelva constituyen el ámbito geográfico de este extenso dominio.

Está constituido por una gran variedad de materiales geológicos, pertenecientes al Paleozoico metamorfozados por la orogenia hercínica o masas de rocas ígneas, fundamentalmente granitoides. Las aguas minerales presentes en estos materiales circulan y están contenidas en el sistema de fracturas y fisuras, algunas de gran profundidad, que los caracteriza.

La facies hidroquímica más común es la bicarbonatada sódica, último estadio de evolución química del agua de lluvia en su circulación por los materiales silicatados y carbonatados que caracterizan las formaciones metamórficas e ígneas. También se presentan con relativa abundancia aguas bicarbonatadas magnésicas y aguas cloruradas sódicas.

Esta unidad hidromineral es asimismo ámbito de existencia de un elevado número de anomalías de indicadores de circulación profunda: temperatura, flúor, sílice, hierro, manganeso, arsénico y sulfuros.

### **Dominio 2. DOMINIO DE ASTURIAS CENTRAL Y PICOS DE EUROPA**

Este dominio comprende los materiales paleozoicos no metamorfozados o con escaso grado de metamorfismo que se extienden por la zona central y oriental de Asturias y, en menor medida, norte de Castilla-León y área occidental de Cantabria.

Figura 7 (A3)

Los materiales que lo constituyen son areniscas, conglomerados y carbonatos, especialmente la conocida Caliza de Montaña. Las aguas minerales que se presentan en este dominio se caracterizan por una circulación que, salvo excepciones, es en general somera por lo que durante la misma no son sometidas a cambios químicos importantes.

La facies predominante es la bicarbonatada cálcica, con la presencia, especialmente en su periferia, de aguas bicarbonatadas magnéticas. Presentan algunas anomalías de Fe y As.

### **Dominio 3. DOMINIO COSTERO MESOZOICO ASTURIANO**

Se extiende por la zona costera asturiana entre Avilés y Ribadesella y comprende los materiales depositados en la cuenca mesozoica cantábrica sobre el basamento hercínico. Su estratigrafía va desde el Permotrias al Cretácico y presenta una gran variedad de litologías: conglomerados, yesos, margas, areniscas, masas salinas y carbonatos.

Las facies hidroquímicas predominantes en las aguas minerales contenidas en esta unidad son la bicarbonatada cálcica, clorurada sódica y sulfatada cálcica.

En la base de datos no existe información acerca de la presencia en esta unidad de anomalías indicativas de circulación profunda de las aguas.

### **Dominio 4. DOMINIO DE CANTABRIA**

Se extiende geográficamente por prácticamente toda la Comunidad Autónoma de Cantabria, incluye gran diversidad de materiales mesozoicos desde triásicos a cretácicos. Las litologías predominantes están representadas por areniscas, conglomerados, yesos, sales y carbonatos. En estos materiales el agua circula bien por espacios porosos de los materiales detríticos o bien por fisuras y fracturas de los carbonatos. En su circulación a menudo se ponen en contacto con los materiales evaporíticos, tan abundantes en esta zona, llegando a lixiviarlos.

Las facies hidroquímicas más abundantes y que caracterizan a este dominio son las bicarbonatadas cálcicas y la clorurada sódica. No se han encontrado en el conjunto de análisis de las aguas de este dominio hidromineral existente en la base de datos, anomalías químicas indicativas de circulación muy profunda.

### **Dominio 5. CORDILLERA SUBBÉTICA OCCIDENTAL**

Se extiende este dominio por zonas de hasta 6 provincias de Andalucía: una parte importante de Cádiz, sureste de Sevilla, noroeste de Málaga, sur de Córdoba, Jaén y noreste de Granada, abarcando todo el frente de contacto entre el erógeno bético y el límite sur de la depresión del río Guadalquivir. En esta extensa zona la dirección NE-SW, como el conjunto de toda la cordillera, se presentan materiales mesozoicos, desde triásicos hasta cretácicos, entre los que cabe destacar areniscas, yesos, sales, margas y carbonatos.

Las facies hidroquímicas predominantes son las bicarbonatadas cálcicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas.

En las aguas minerales y termales de este dominio se presentan anomalías de flúor, hierro y temperatura.

#### **Dominio 6. VOLCÁNICO DE CIUDAD REAL**

Una extensa zona al sur de la provincia de Ciudad Real, en la que el Campo de Calatrava es representativo, es ámbito de una importante actividad volcánica durante el Cuaternario, en la que se producen emisiones de grandes masas de materiales lávicos y piroclásticos de composiciones fundamentalmente basálticas. Estas formaciones basálticas por las que existe un flujo ascendente de dióxido de carbono de origen endógeno, permite la circulación del agua de infiltración, dando lugar tras los intercambios geoquímicos con las rocas en profundidad, abundantes aguas minerales y esporádicamente termales.

Las facies hidroquímicas dominantes son las bicarbonatadas magnésicas y sódicas, procedentes de evolución geoquímica de las aguas de infiltración bicarbonatada cálcica. Se presentan en esta agua anomalías de temperatura y arsénico.

#### **Dominio 7. DOMINIO MEDITERRÁNEO SURORIENTAL**

Geográficamente y geológicamente este dominio se identifica totalmente con lo que se conoce como dominio interno de la Cordillera Bética o Bético Interno. Abarca una parte importante de las provincias de Málaga, Granada, Almería y Murcia. Está integrado por un conjunto de formaciones geológicas, sometidas a la mayor deformación dentro del conjunto de las Cordilleras Béticas, situadas en mantos superpuestos con un fuerte plegamiento y por lo tanto con abundante fracturación que en ocasiones alcanza grandes dimensiones, tanto en vertical como en horizontal. Estos mantos, Nevado-Filabrides, Alpujárrides y Maláguides incluyen materiales básicamente metamórficos y carbonatados, aunque también se presentan en menor proporción formaciones yesíferas.

Las facies hidroquímicas dominantes son las bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y sulfatadas cálcicas. Estas últimas como consecuencia de la gran profundidad de circulación de las aguas y su contacto con los yesos mencionados. Excepcionalmente se presentan aguas cloruradas sódicas con una elevada salinidad y algunas aguas bicarbonatadas sódicas en relación con materiales carbonatados metamorfizados (mármoles).

Es generalizada la presencia de anomalías indicativas de la circulación profunda, especialmente temperatura, flúor y hierro.

#### **Dominio 8. CORDILLERA SUBBÉTICA ORIENTAL**

Comprende este dominio partes de las provincias de Jaén, Almería, Albacete, Murcia y Alicante. Geológicamente se identifican con las estribaciones más orientales de la Cordillera Bética, en sus dominios externos del Subbético y Prebético, en las que la deformación del orógeno es menos acusada que en el dominio interno anteriormente citado. Litológicamente, este dominio presenta una gran diversidad de materiales: areniscas, margas, arcillas, yesos, masas salinas y extensas formaciones carbonatadas del Mesozoico y Terciario.

Esta diversidad de litologías da lugar a una gran variedad de facies hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas, son tipos de aguas presentes en este dominio hidromineral.

Asimismo se presentan abundantes anomalías químicas indicativas de circulación profunda. Temperatura, flúor, hierro y litio, fundamentalmente.

#### **Dominio 9. SIERRA DE ALCARAZ Y CAMPO DE MONTIEL**

Geográficamente comprende las zonas limítrofes de las provincias de Ciudad Real, Albacete y Jaén. Se identifica geológicamente con las formaciones triásicas existentes en la base del Jurásico carbonatado del Sureste de la meseta castellano-manchega.

Areniscas, yesos y carbonatos son las litologías predominantes en este dominio hidromineral. Las facies hidroquímicas dominantes son las bicarbonatadas cálcicas y la sulfatada cálcica, como consecuencia de la interacción del agua de infiltración con los citados materiales.

En el conjunto de análisis de la base de datos de las aguas minerales y termales no existe evidencia de anomalías químicas debidas a circulación profunda en este dominio.

#### **Dominio 10. DOMINIO IBÉRICO**

Este dominio abarca la amplia extensión geográfica del ámbito de la Cordillera Ibérica, desde el sur de La Rioja hasta la provincia de Castellón, por el nordeste y el contacto con las estribaciones orientales de las Cordilleras Béticas en Alicante. Esta extensión geográfica es también sinónimo de una gran variedad litoestratigráfica en su ámbito geológico, desde los afloramientos paleozoicos presenten en su núcleo hasta los materiales neógenos que rellenan sus depresiones internas.

Los materiales que influyen en las facies hidroquímicas de las aguas minerales de este dominio son básicamente areniscas, yesos, sales y carbonatos de formaciones triásicas y jurásicas fundamentalmente.

Esta variedad litológica se manifiesta en la variedad hidrogeoquímica: aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas se encuentran ampliamente representados en este dominio hidromineral.

También se presentan abundantes anomalías químicas por la profundidad de circulación de las aguas, entre las que predominan las anomalías de temperatura, sílice, flúor y arsénico.

#### **Dominio 11. DOMINIO COSTERO-CATALÁN**

Desde la provincia de Tarragona al sur hasta una amplia zona de la provincia de Gerona, este dominio se identifica geológicamente con el sistema o cordilleras Costero-Catalana. Este conjunto de elevaciones y depresiones internas es consecuencia de la fase distensiva terciaria que se produce tras la orogenia alpina.

El conjunto tectosedimentario abarca formaciones ígneas y metamórficas del Paleozoico hasta evaporitas y carbonatos mesozoicos.

Este dominio hidromineral es ámbito de una numerosa y variable representación de aguas minerales y termales. Las facies dominantes abarcan las aguas bicarbonatadas cálcicas, magnésicas y sódicas, así como aguas cloruradas sódicas ligadas a materiales ígneos con fracturación muy profunda.

En este dominio están también presentes una gran variedad de anomalías geoquímicas indicativas de circulación muy profunda. Se puede identificar aguas anómalas por su temperatura, o por el contenido en sílice, flúor, arsénico, litio, hierro, manganeso y sulfuros.

#### **Dominio 12. ZONA AXIAL PIRENAICA**

Geográficamente comprende la zona más septentrional de la Cordillera Pirenaica desde el norte de la provincia de Huesca al norte de la provincia de Gerona y geológicamente se identifica con el eje y sustrato ígneo-metamórfico del Paleozoico.

Por su relación con las aguas minerales y termales, los materiales más característicos de este dominio son las masas graníticas, aunque también existen materiales metamórficos muy fracturados que permiten la circulación profunda de agua de infiltración con la consiguiente evolución hacia facies características.

A este respecto las facies químicas dominantes en esta zona son las bicarbonatadas cálcicas, las bicarbonatadas sódicas y las cloruradas sódicas.

Estas aguas minerales presentan importantes anomalías geoquímicas de temperatura, flúor, arsénico y sulfuros.

### **Dominio 13. SIERRA NORTE DE MALLORCA**

Como su nombre indica este dominio se identifica geográficamente con la zona montañosa que caracteriza toda el área nordeste de la isla de Mallorca.

Litológicamente no presenta gran variedad, limitándose su representación a los carbonatos mesozoicos. La facies hidroquímica dominante es la bicarbonatada cálcica y no existe información de presencia de anomalías geoquímicas, lo que induce a pensar en una circulación relativamente somera de las aguas.

Hay que mencionar la existencia de otro tipo de aguas minerales en la isla de Mallorca, fuera del ámbito de la Sierra Norte, en las depresiones de Lluçmajor y San Joan, ligada a formaciones evaporíticas pero que no pueden considerarse representativas de un dominio hidromineral, debido a su escasez.

### **Dominio 14. VOLCÁNICA DE LAS ISLAS CANARIAS**

El carácter volcánico de la formación del archipiélago canario da lugar a la presencia de materiales de diversa composición: basaltos, fonolitas, traquibasaltos, etc., tanto en formaciones lávicas como piroclásticas. Esta variedad de materiales tiene consecuencia por una interacción con el agua de infiltración, en las facies hidrogeoquímicas, predominante en las aguas subterráneas en general, y en las aguas consideradas como minerales en particular.

Existe un gran número de aguas consideradas como minerales, en las que las facies hidrogeoquímicas dominantes son las bicarbonatadas sódicas y las bicarbonatadas magnésicas. También es notable la presencia de aguas cloruradas sódicas.

Las anomalías químicas más habituales, relacionadas sin duda con la composición de los materiales volcánicos, son los de flúor y sílice.

## **6. AGUAS MINERALES SINGULARES. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.**

Con formato: Numeración y viñetas

Con independencia de su facies hidroquímica representativa del contenido en iones mayoritarios, las aguas minerales y termales presentan algunas características o elementos en su composición que reflejan una circulación profunda, estos son los indicadores de circulación profunda. Cuando el valor de estas características o contenido en elementos sobrepasan los valores medios del conjunto de las aguas minerales se puede afirmar que se tratan de aguas singulares.

Las características o elementos de este tipo más habituales en las aguas minerales y termales son: la temperatura, el contenido en flúor, sílice, litio, hierro, manganeso, arsénico y sulfuros. Existen otros muchos elementos minoritarios, pero este grupo es el más comúnmente admitido como integrante de la caracterización de aguas minerales.

Se ha llevado a cabo un estudio estadístico del valor de los parámetros en todos los análisis de agua cargados en la base de datos, fijando para cada uno de ellos los rangos de anomalía de primero, segundo y tercer grado. Estos rangos fijados se corresponden aproximadamente con los valores correspondientes a  $m + \sigma$ ,  $m + 2\sigma$  y  $m + 3\sigma$ , en la distribución lognormal, siendo  $m$  la media y  $\sigma$  la desviación estándar de dicha distribución.

Los rangos marcados para los parámetros citados son los siguientes:

Parámetros	Valores estadísticos	Rangos
Temperatura	$m + \sigma = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	20-29
	$m + 2\sigma = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	30-49
	$m + 3\sigma = 50 \text{ }^\circ\text{C}$	$\geq 50$
Sílice	$m + \sigma = 50 \text{ mg/l}$	50-74
	$m + 2\sigma = 75 \text{ mg/l}$	75-99
	$m + 3\sigma = 100 \text{ mg/l}$	$\geq 100$
Flúor	$m + \sigma = 1 \text{ mg/l}$	1-4,9
	$m + 2\sigma = 5 \text{ mg/l}$	5-9,9
	$m + 3\sigma = 10 \text{ mg/l}$	$\geq 10$
Litio	$m + \sigma = 1 \text{ mg/l}$	1-3
	$m + 2\sigma = 3 \text{ mg/l}$	3-7
	$m + 3\sigma = 7 \text{ mg/l}$	$\geq 7$
Hierro	$m + \sigma = 1 \text{ mg/l}$	1-5
	$m + 2\sigma = 5 \text{ mg/l}$	5-10
	$m + 3\sigma = 10 \text{ mg/l}$	$\geq 10$
Manganeso	$m + \sigma = 0,5 \text{ mg/l}$	0,5-3
	$m + 2\sigma = 3 \text{ mg/l}$	3-10
	$m + 3\sigma = 10 \text{ mg/l}$	$\geq 10$
Arsénico	$m + \sigma = 0,02 \text{ mg/l}$	0,02-0,25
	$m + 2\sigma = 0,25 \text{ mg/l}$	0,25-2,5
	$m + 3\sigma = 2,5 \text{ mg/l}$	$\geq 2,5$

Parámetros	Valores estadísticos	Rangos
Sulfuros	$m + \sigma = 3 \text{ mg/l}$	3-10
	$M + 2\sigma = 10 \text{ mg/l}$	10-25
	$M + 3\sigma = 25 \text{ mg/l}$	$\geq 25$

Con estos valores estadísticos se han representado en mapas la localización de los puntos de aguas minerales y termales que para cada uno de estos parámetros muestran valores dentro de los rangos marcados, señalando con color verde las anomalías de primer orden,  $m + \sigma < P < m + 2\sigma$ , en amarillo las anomalías de segundo orden,  $m + 2\sigma < P < m + 3\sigma$ , y finalmente en rojo aquellos puntos cuyos contenidos o valores del parámetro estudiado supera el límite de  $m + 3\sigma$ .

En las figuras 8 a 15 se han representado las aguas consideradas como singulares por el valor en los parámetros citados.

En la figura 8 se representan las aguas singulares por su temperatura. Aunque se distribuyen a lo ancho de toda la geografía, especialmente las anomalías de primer orden con temperatura en el rango de 20-29 °C, las mayores concentraciones de aguas termales e hipertermales se presentan en Galicia, Andalucía, Murcia y Cataluña.

La figura 9 representa la distribución espacial del contenido en sílice. En este caso existe una relación directa entre este parámetro y los materiales ígneos paleozoicos silicatados, con lo que la mayor concentración de anomalías se produce en áreas de sustrato como Galicia, Cordilleras Costero Catalanas y algunas zonas de la Cordillera Ibérica.

La figura 10 presenta la distribución espacial de las aguas singulares por su contenido en flúor, siendo el ámbito de mayor concentración parte del Macizo Hercínico –Galicia, Zamora y Salamanca–, las Cordilleras Béticas y las Cordilleras Costero Catalanas.

En la figura 11 se presentan las anomalías o puntos singulares por su contenido en litio. Sólo se destacan por su mayor densidad de puntos las dos áreas siguientes: límite norte del frente subbético con la Depresión del Guadalquivir, en la provincia de Jaén y área septentrional de las Cordilleras Costero Catalanas –provincia de Gerona–.

En las figuras 12 y 13 se presenta la distribución espacial de los puntos singulares para su contenido en hierro y manganeso respectivamente. Ambos elementos tienen un comportamiento muy similar, produciéndose las mayores concentraciones de puntos singulares en Galicia, en la provincia de Gerona y en zonas dispersas de la Cordillera Bética y su límite con el valle del Guadalquivir.

En la figura 14 se presenta la distribución de los puntos anómalos o singulares por su contenido en arsénico. Salvo puntos dispersos por toda la geografía peninsular las concentraciones de puntos anómalos se producen en Galicia y en el borde sur de la Cordillera Cantábrica en su límite con la Cuenca del Duero. En esta zona tiene lugar una elevada concentración de puntos con contenido en arsénico que superan los 2,5 mg/l.

Figura 8

Figura 9

Figura 10

Figura 11

Figura 12

Figura 13

Figura 14

Finalmente, en la figura 15 se presenta la localización geográfica y geológica de los puntos de agua singulares por su contenido en sulfuros. Salvo media docena de puntos situados en la provincia de Gerona, todo el conjunto de anomalías en sulfuros tiene lugar en los materiales hercínicos de Galicia.

### Aguas singulares hipersalinas o salmueras

Dentro de las aguas clasificadas como minerales por la legislación española (Ley de Minas) se encuentran las denominadas aguas minero-industriales, que por su composición permiten un aprovechamiento racional de las sustancias que contienen, fundamentalmente cloruro sódico.

Estas aguas, incluidas también en la base de datos de aguas minerales, se caracterizan por su elevada concentración salina, de manera que pueden clasificarse como aguas hipersalinas o salmueras naturales. La distribución estadística de los valores de la conductividad, que se presenta a continuación, muestra que el 2% de las aguas minerales registradas en la base de datos presentan una conductividad superior a 60.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , equivalentes a una salinidad total del orden de 40.000 mg/l de sales disueltas.

Conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Porcentaje
$C < 1.000$	74,0
$1.000 \leq C < 3.500$	14,5
$3.500 \leq C < 20.000$	7,5
$20.000 \leq C < 60.000$	2,0
$60.000 \leq C$	2,0

Distribución estadística de Conductividad en las aguas minerales de España

Éstas son las aguas que se pueden identificar como hipersalinas y objetivo de explotaciones industriales. En la figura 16 se presenta un mapa de su distribución territorial. Su localización tiene siempre relación con masas salinas o evaporíticas: borde de contacto de la depresión del Guadalquivir con el frente de materiales subbéticos, zonas de diapiros y masas salinas de Murcia y Alicante, etc. La composición de estas aguas es mayoritariamente clorurada sódica, aunque también se presentan las sulfatadas cálcicas o cálcico-magnésicas procedentes de disolución de yesos.

Figura 15

Figura 16

## **7. MAPA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y TERMALES DE ESPAÑA.**

Como síntesis final de los trabajos realizados en el proyecto, se ha elaborado un mapa a nivel nacional y escala 1:1.000.000, en el que se recopila bajo un sistema de información geográfica toda la información expuesta en los capítulos anteriores.

Este mapa a nivel nacional va acompañado de tres mapas, de dimensiones menores, con los que se incluye la información sobre los puntos singulares que se han citado en el capítulo anterior y que dificultarían la claridad del mapa base.

En el mapa base, de escala 1:1.000.000, sobre una información de fondo de carácter litológico y estratigráfico, se ha representado la siguiente información:

- Polígonos de delimitación de las zonas de existencia de las diferentes facies hidrogeoquímicas seleccionadas, en los que existe congruencia entre la litoestratigrafía presente en la facies correspondientes. Las facies representadas son las definidas en el capítulo 4, es decir: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas, bicarbonatadas sódicas, cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas. Como es lógico, en algunas zonas del territorio se superponen dos o más polígonos, al coexistir diferentes facies para un mismo tipo de material.
- Se han representado los puntos de aguas minerales y termales que pueden ser considerados como singulares por sus facies al existir en un ámbito geográfico y geológico extraño o exterior al área delimitada por el polígono correspondiente a su composición. A este respecto y dado que las aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas se encuentran muy extendidas por todo el territorio peninsular e insular, no se han representado singularidades de estas dos facies. De esta forma solo se han representado las aguas singulares por su facies bicarbonatada sódica, clorurada sódica y sulfatada cálcica.
- También se han representado en este mapa base a escala 1:1.000.000, las aguas minerales singulares por su temperatura y su contenido en flúor, que son las que representan en conjunto el mayor número de puntos de las aguas singulares, ya que entre ambos parámetros superan los 550 puntos.
- Los restantes parámetros de puntos singulares: litio, sílice, hierro, manganeso, arsénico y sulfuros, se han representado agrupados de dos en dos en tres mapas de menor dimensión en los que sólo se representa la base litológica y la situación de los puntos singulares. Los tres mapas agrupan los siguientes pares de parámetros: arsénico-sulfuros, hierro-manganeso y sílice-litio.

Este mapa general a nivel nacional, junto al presentado en la figura 7 de delimitación de los dominios hidrominerales, sintetizan toda la información contenida en la base de datos de aguas minerales y termales actualizada en el presente proyecto, que como se puso de relieve en el capítulo 3, contiene información sobre 2.579 puntos de agua de los que 2.126 tienen, al menos, un análisis, siendo el número total de análisis contenidos en la base de 4.375.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Con formato: Numeración y viñetas

- Baeza Rodríguez-Caro J., López Geta J.A. y Ramírez Ortega A. 2001. *Las Aguas Minerales en España. Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Diputación Regional de Cantabria 1987. *Inventario y caracterización de las aguas termales y minero-medicinales en Cantabria*.
- Instituto Geológico y Minero de España 2003. *Síntesis de la información analítica disponible sobre composición química de las aguas subterráneas en España*.
- Instituto Geológico y Minero de España. *Estudio de las aguas minerales en Castilla y León (En ejecución)*.
- Instituto Geológico y Minero de España - Gobierno del Principado de Asturias 2001. *Estudio del potencial de aguas minerales y termales del Principado de Asturias*.
- Instituto Geológico y Minero de España - Región de Murcia 2000. *Estudio de las Aguas Minerales y Termales de la Región de Murcia*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Diputación General de Aragón 1994. *Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma de Aragón*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Generalitat de Catalunya 1995-96. *Estudio para la evaluación de las aguas minero-medicinales, minerales naturales, de manantial, termales y minero-industriales en el territorio de Catalunya*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Generalitat Valenciana 1989. *Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Primera Fase*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Generalitat Valenciana 1990. *Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana - Segunda Fase*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Gobierno del Principado de Asturias 1995. *Estudio y evaluación del estado actual de las aguas minero-medicinales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias. Reconocimientos hidrogeológicos detallados*.
- Instituto Tecnológico Geominero de España - Junta de Andalucía 1990-91. *Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía - 1ª Fase*.
- Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha 1990. *Estudio de las Aguas Minerales y Termales de Castilla-La Mancha*.

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha 2003. *Inventario de Yacimientos Hidrominerales de Castilla-La Mancha*.

Junta de Extremadura 2003. *Recursos Mineros de Extremadura: Las Aguas Minerales*.