

# ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA DESARROLLAR DIVERSOS TRABAJOS RELACIONADOS CON EL INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS Y CON LA CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS COMPARTIDOS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS



ACTIVIDAD 2: Definición y caracterización de masas de agua subterránea compartidas entre demarcaciones hidrográficas.

## DOCUMENTO METODOLÓGICO MASAS COMPARTIDAS



## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología diseñada para el estudio de las masas de agua subterránea **compartidas entre dos o más ámbitos de planificación** debe contemplar la realización de las siguientes actuaciones:

### **1) Delimitación y caracterización hidrogeológica de la masa de agua subterránea compartida**

Se deberá realizar una cartografía hidrogeológica a escala 1:50000 de cada una de las masas de agua subterránea. Dicha cartografía se debe realizar a partir de la cartografía digital del IGME (Plan GEODE) adaptándola a la normativa UNESCO de mapas hidrogeológicos. Esta forma de proceder persigue que los mapas generados sean cotejables y comparables a escala internacional con los producidos en el resto del mundo y especialmente en los países de la Unión Europea.

A partir de dichos mapas y de la información hidrogeológica disponibles en el IGME, en otros organismos de administración y gestión de las aguas subterráneas y en las diferentes Universidades del estado español, se identificarán y caracterizarán las distintas estructuras hidrogeológicas presentes en cada una de las masas de agua subterránea compartidas en función de sus ejes de drenaje a los distintos ríos de la red hidrográfica principal del CEDEX, bien sean estos de tipo puntual a través de manantiales o de descarga difusa directa a ríos y humedales.

Cada una de las estructuras hidrogeológicas que se identifiquen y definan deberán de ir acompañadas de:

- 1) Un Inventario de puntos de agua discretizado por tipologías.
- 2) Una caracterización geometría de las diferentes estructuras hidrogeológicas (mapas de cota de techo, muro e isoespesores).
- 3) Mapas piezométricos en régimen natural y en el actual estado de explotación de las aguas subterráneas, así como de gráficos piezométricos que representen la evolución acontecida en un determinado espacio de tiempo.
- 4) Relación río-acuífero con identificación de manantiales y sumideros, y tramos ganadores y perdedores caracterizados de acuerdo a las tipologías establecidas en la Encomienda de Gestión suscrita entre la Dirección General del Agua (DGA) y el Instituto Geológico y Minero de España en fecha de 7 de noviembre de 2007, así como de los hidrogramas característicos de las principales descargas subterráneas.

- 5) En función de los resultados obtenidos en los puntos 3) y 4) se elaborará un mapa de direcciones de flujo subterráneo sobre el que se dibujaran las divisorias hidrogeológicas correspondientes al régimen natural e influenciado para el actual grado de explotación.
- 6) Cortes hidrogeológicos explicativos del funcionamiento de las diferentes estructuras hidrogeológicas identificadas con indicación del sentido del flujo hacia los ríos y manantiales principales.

## **2) Estimación de la recarga debida a la precipitación.**

La recarga debida a la precipitación constituye, generalmente, la aportación más importante de agua que llega a la zona saturada de un acuífero. Su evaluación y determinación, que es compleja y difícil, depende por un lado de la cuantía y distribución espacial y temporal de la precipitación y la temperatura, y por otro de las características edáficas del suelo y de la vegetación que se desarrolla sobre el mismo, así como de la pendiente y litología del terreno, por esta razón es preciso emplear diferentes métodos de cálculo para su cuantificación, que deben cumplir la premisa de ser complementarios e independientes entre sí. A este respecto la recarga debida a la precipitación se calculará de acuerdo a:

- a) Una metodología que contemple una estimación de la recarga a los acuíferos distribuida a escala temporal pero no espacial como la que realizan modelos como el Visual Balance.
- b) Una metodología que contemple una estimación de la recarga distribuida a escala espacial pero no temporal como la que realizan modelos y métodos como el APLIS.
- c) Una metodología que contemple una estimación de la recarga distribuida tanto espacial como temporalmente como la que realizan modelos como el RENATA.
- d) Una metodología que emplee el balance de cloruros.

La aplicación de las metodologías a) y c) exige utilizar un paso de tiempo diario, tanto para el régimen natural como influenciado, siempre que el actual grado de explotación de la masa de agua subterránea sea superior a 0,5. En caso contrario el paso de tiempo puede ser mensual, aunque es recomendable que sea diario. En caso de utilizar un paso de tiempo mensual, los datos climáticos serán proporcionados por el CEDEX de acuerdo a los trabajos que está realizando para mejorar los resultados proporcionados por el modelo SIMPA. En caso de que los datos climáticos sean diarios se tratarán mediante el programa TRASERO o uno similar. El periodo de cálculo se extenderá a una serie de 30

años, salvo en las masas que se encuentran sobreexplotadas o estén sometidas a un importante grado de explotación que abarcará como mínimo un periodo de 60 años. El análisis que se realice contemplará una caracterización climática para poder obtener las series de recarga por precipitación a los acuíferos y analizar la misma para años hidrogeológicos de tipo medio, seco y húmedo. Los modelos y métodos que se utilicen se calibrarán a partir de reproducir las variaciones temporales observadas en el nivel freático o en las descargas de agua subterránea que tienen lugar a través de manantiales o directamente a ríos.

### **3) Balance hídrico**

Se realizará un balance hídrico tanto en régimen natural como influenciado para los periodos de tiempo referidos en el punto anterior para cada una de las estructuras hidrogeológicas que se identifiquen, así como para cada uno de los ámbitos de planificación. Dicho balance hídrico deberá contemplar los siguientes factores:

Junto a la recarga que tiene lugar exclusivamente a partir de la precipitación también se deberán contemplar las siguientes:

- A.infiltración que se produce a través del lecho de los ríos, lagos, lagunas y humedales, bien sean estos permanentes, estacionales o efímeros.
- B.transferencias subterráneas procedente de otros acuíferos y acuitardos.
- C.aportación debida a los excedentes y retornos de riego.
- D.pérdidas de agua que tienen lugar bien en las redes de distribución y saneamiento o bien por filtración en el vaso permeable de embalses, depósitos y balsas de almacenamiento y regulación hídrica.
- E. la recarga artificial y la inducida.

La recarga debida a la precipitación, junto con las identificadas con las letras A y B, constituyen la denominada recarga natural. Las referidas con C y D la recarga antrópica o accidental, y las expresadas con E la recarga programada de acuíferos según la propuesta formulada por Murillo (2018) al objeto de aunar recarga artificial e inducida.

Por lo que respecta a las salidas de agua del sistema se contemplarán las siguientes: descargas por manantiales; drenajes difusos a ríos, lagos, humedales y embalses superficiales; trasferencias subterráneas a otras unidades o sectores acuíferos; bombeos y evapotranspiración desde el acuífero.

La distribución de masas compartidas en los informes realizados y las correspondientes zonas de estudio se reflejan en el siguiente cuadro:

<i>En el PLIEGO ENCOMIENDA</i>		<i>INFORMES realizados</i>	<i>ZONAS DE ESTUDIO</i>
<i>Anexo 1 PHN Nombre</i>	<i>MASb (2º ciclo)</i>	<i>Nº y NOMBRE</i>	<i>Nº y NOMBRE</i>
<u>LA BUREBA</u>	Quintanilla-Peñahorada (DU) Bureba (EBR)	<u>Informe nº 1 (PEÑAHORADA-LA BUREBA)</u>	<b>1. Peñahorada-La Bureba</b>
<u>ARAVIANA- VOZMEDIANO</u>	Moncayo (DUE) Araviana-Vozmediano (EBR)	<u>Informe nº 2 (VOZMEDIANO-MONCAYO)</u>	<b>2. Vozmediano-Moncayo</b>
<u>ALMAZAN- ARANDA DE MONCAYO</u>	Araviana y Cuenca de Almazán (DU) Borobia-Aranda de Moncayo (EBR)	<u>Informe nº 3. (ARAVIANA-BOROBIA)</u>	<b>3. Araviana-Borobia</b>
Cella-Molina de Aragón	Molina de Aragón (TAJ) Gea de Albarracín (JUC) Pozondón y Cella-Ojos de Monreal (EBR)	<u>Informe nº 4. (MOLINA-POZONDON-GEA)</u>	<b>4. Molina-Pozondón-Gea</b>
Campo de Montiel	Campo de Montiel (GDN) Campo de Montiel (GDQ)	<u>Informe nº 5 (CAMPO DE MONTIEL-LEZUZA)</u>	<b>5. Campo de Montiel-Lezuza</b>
Almonte- Marismas	Almonte (GDQ) Manto Eólico Litoral de Doñana (GDQ) La Rocina (GDQ) Condado (TOP)	<u>Informe nº 6 (DOÑANA OESTE)</u>	<b>6. Doñana oeste</b>
Sierra de Líbar	Sierra de Líbar (G-B) Sierra de Líbar (CMA)	<u>Informe nº 7 (SIERRA DE LÍBAR)</u>	<b>7. Sierra de Líbar</b>
Sierra de Cañete	Sierra de Cañete-Corbones (GDQ) Sierra de Cañete Sur (CMA)	<u>Informe nº 8 (CAÑETE-CORBONES-ALCALÁ DEL VALLE)</u>	<b>8. Carbonatado de Almargen-La Atalaya-Fuentepeones</b>

<b>En el PLIEGO ENCOMIENDA</b>		<b>INFORMES realizados</b>	<b>ZONAS DE ESTUDIO</b>
<b>Anexo 1 PHN Nombre</b>	<b>MASb (2º ciclo)</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>
			<b>9. Alcalá del Valle-afloramientos aislados de Llanos de Zajarilla-La Preciada</b>
<u>Sierra Gorda-Polje de Zafarraya</u>	Sierra Gorda-Zafarraya (GDQ) Sierra Gorda-Zafarraya (CMA)	<u>Informe nº 9 (SIERRA GORDA-POLJÉ DE ZAFARRAYA)</u>	<b>10. Sierra Gorda-Zafarraya 11. Sierra de Gibalto 12. Fuente Camacho.</b>
<u>(Se agruparon las 3) Tejeda-Almijara-Las Guájaras No catalogada en el PHN No catalogada en el PHN</u>	Tejeda-Almijara-Las Guájaras (GDQ) Sierra Tejeda (CMA) Sierra Almijara (CMA) Sierra de las Guájaras (CMA) Tejeda-Almijara-Las Guájaras (GDQ) Sierra de Padul Sur (CMA) Tejeda-Almijara-Las Guájaras (GDQ) Sierra de Albuñuelas (CMA)	<u>Informe nº 10 (TEJEDA-ALMIJARA-LAS GUÁJARAS)</u>	<b>13. Tejeda septentrional 14. Almijara septentrional-Padul-Albuñuelas</b>
<u>Sierra de La Oliva</u>	Sierra de la Oliva (SEG) Sierra de la Oliva (JUC)	<u>Informe nº 11 (SIERRA DE LA OLIVA)</u>	<b>15. Sierra de la Oliva</b>
<u>Jumilla-Villena</u>	Jumilla-Yecla (SEG) Sierra del Castellar (JUC)	<u>Informe nº 12 (JUMILLA-YECLA-CASTELLAR)</u>	<b>16. Jumilla-Yecla-Castellar</b>
<u>Salinas</u>	Serral-Salinas (SEG) Sierra de Salinas (JUC)	<u>Informe nº 13 (SERRAL-SALINAS)</u>	<b>17. Serral-Salinas</b>
<u>Quibas</u>	Quibas (SEG) Sierra del Reclot (JUC)	<u>Informe nº 14 (QUIBAS)</u>	<b>18. Quibas</b>
<u>Sierra de Crevillente</u>	Sierra de Crevillente (SEG) Sierra de Crevillente (JUC)	<u>Informe nº 15.(SIERRA DE CREVILLENTE)</u>	<b>19. Sierra de Crevillente</b>

<b>En el PLIEGO ENCOMIENDA</b>		<b>INFORMES realizados</b>	<b>ZONAS DE ESTUDIO</b>
<b>Anexo 1 PHN Nombre</b>	<b>MASb (2º ciclo)</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>
<u>Losa</u>	Calizas de Losa (EBR) Salvada (COR)	<u>Informe nº 16 (CALIZAS DE LA LOSA-SALVADA)</u>	<b>20. Calizas de la Losa</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Ayamonte (GDN) Lepe-Cartaya (TOP)	<u>Informe nº 17 (AYAMONTE-LEPE-CARTAYA)</u>	<b>21. Ayamonte-Lepe-Cartaya</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Aroche-Jabugo (GDN) Aracena (TOP)	<u>Informe nº 18 (SIERRA DE ARACENA)</u>	<b>22. Sierra de Aracena</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Rus-Valdelobos (GDN) Mancha Oriental (JUC)	<u>Informe nº 19 (RUS-VALDELOBOS y MANCHA ORIENTAL)</u>	<b>23. Rus-Valdelobos y Mancha Oriental</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Quesada-Castril (GDQ) Calar del Mundo (SEG) Machada (SEG)	<u>Informe nº 20 (ALTO SEGURA-ALTO GUADIANA MENOR)</u>	<b>24. Calar del Mundo-Navalperal-Yelmo 25. Sierra de Segura occidental-Sierra del Segura-Sierra Seca 26. Sierra de Guillimona-Sierra del Segura oriental-Socovos-Sierra del Taibilla</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	La Zarza (GDQ) Sierra de la Zarza (SEG)	<u>Informe nº 21 (LA ZARZA)</u>	<b>27. La Zarza</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Orce-María-Cúllar (GDQ) Vélez Blanco-María (SEG)	<u>Informe nº 22 (SIERRAS DE ORCE Y MARÍA)</u>	<b>28. Sierras de Orce y María</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Campo de Tejada (GDQ) Niebla y Condado (TOP)	<u>Informe nº 23 (NIEBLA-CAMPO DE TEJADA)</u>	<b>29. Niebla-Campo de Tejada</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Vega media y Baja del Segura (SEG) Bajo Vinalopó (JUC)	<u>Informe nº 24 (VEGA MEDIA y BAJA DEL SEGURA-BAJO VINALOPÓ)</u>	<b>30. Vega Media y Baja del Segura-Bajo Vinalopó</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Las Norias (SEG) Cubeta de El Saltador (CMA)	<u>Informe nº 25 (SALTADOR-LAS NORIAS)</u>	<b>31. Saltador Las Norias</b>



<b>En el PLIEGO ENCOMIENDA</b>		<b>INFORMES realizados</b>	<b>ZONAS DE ESTUDIO</b>
<b>Anexo 1 PHN Nombre</b>	<b>MASb (2º ciclo)</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>	<b>Nº y NOMBRE</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Sierra de Almagro (SEG) Sierra de Almagro (CMA)	<u>Informe nº 26 (SIERRA DE ALMAGRO)</u>	<b>32. Sierra de Almagro</b>
<u>No catalogada en el PHN</u>	Sierra de las Estancias (SEG) Sierra de las Estancias (CMA)	<u>Informe nº 27 (SIERRA DE LAS ESTANCIAS)</u>	<b>33. Sierra del Saliente II 34. El Sabuco 35. La Vizcaína 36. Sierra del Madroñal</b>
<u>Bajo Ebro- Montsià</u>	Sierra del Montsià (EBR) -- (CIC)	<u>Informe nº 28 (SIERRA DE MONTSIÀ)</u>	<b>37. Sierra de Montsià</b>

## Anexo 1 Método APLIS

El método APLIS relaciona la recarga y la precipitación a partir de la parametrización de cinco variables intrínsecas del terreno: **Altitud**, **Pendiente**, **Litología**, estructuras de Infiltración preferencial y tipo de **Suelo** (IGME-GHUMA, 2003; Andreo *et al.*, 2008; Marín, 2009). Tratados mediante su procesamiento geoespacial y el álgebra de mapas con herramientas SIG, obteniéndose un mapa de distribución de la tasa recarga expresada en porcentaje de la precipitación. Su aplicación requiere de un sistema de puntuaciones de 1 (mínima influencia en la recarga) a 10 (máxima influencia) para las variables implicadas. Los valores obedecen a criterios meramente empíricos y se tabulan en la Tabla 1.

**Tabla 1 Método APLIS. Parámetros y valores tabulados**

Parámetro	Altitud (m)	Valor
A Altitud	≤ 300	1
	(300-600)	2
	(600-900)	3
	(900-1200)	4
	(1200-1500)	5
	(1500-1800)	6
	(1800-2100)	7
	(2100-2400)	8
	(2400-2700)	9
	≥ 2700	10
Parámetro	Pendiente (%)	Valor
P Pendiente	≤ 3	10
	(3-5)	9
	(5-10)	8
	(10-15)	7
	(15-20)	6
	(20-30)	5
	(30-45)	4
	(45-65)	3
	(65-100)	2
	> 100	1
Parámetro	Litología	Valor
L Litología	Calizas y dolomías karstificadas	10, 9
	Calizas y dolomías fracturadas algo karstificadas	8, 7
	Calizas y dolomías fisuradas	6, 5
	Arenas y gravas, coluviones	4
	Brechas y conglomerados	3
	Rocas plutónicas y metamórficas	2
	Esquistos pizarras, limos, arcillas	1
Parámetro	Infiltración-absorción preferencial	Valor
I Infiltración	Abundantes formas de infiltración preferencial	10
	Escasas formas de infiltración preferencial	1
Parámetro	Suelo	Valor
S Suelo	Leptosoles	10
	Arenosoles álbicos y Xerosoles cálcicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
	Cambisoles cálcicos	6
	Cambisoles eútricos	5
	Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y cálcicos	4
	Luvisoles crómicos	3
	Planosoles	2
	Vertisoles crómicos	1

La superposición de las capas de cada variable permite obtener la distribución espacial de la tasa de recarga, así como su valor medio para el conjunto del acuífero. La expresión aritmética aplicada a las capas de cada variable para obtener el porcentaje de la precipitación infiltrada es la siguiente:

$$R = [(A + P + 3 L + 2 I + S) / 0.9] \cdot F_h$$

donde:

R = tasa de recarga, A = parámetro altitud, P = parámetro pendiente, L = parámetro litología,

I = parámetro infiltración, S = parámetro suelo y  $F_h$  = factor de corrección

Puesto que este método sólo es aplicable en acuíferos carbonáticos, se ha utilizado el método APLIS modificado que presenta algunas mejoras en los parámetros  $P$  e  $I$ , además de añadir un factor de corrección ( $F_h$ ) relativo a la capacidad del terreno para dejar pasar el agua en la vertical. Permite distinguir entre formaciones con características acuíferas (Factor =1), ya sea por su litología, porosidad o grado de alteración y fracturación, y formaciones que no las presentan (Factor = 0,1). De este modo, se corrige la sobreestimación de la recarga sobre materiales tradicionalmente considerados como poco o nada permeables

## **Anexo 2 Código Visual Balan**

El código VISUAL BALAN (Samper et al., 1999) ha sido desarrollado por el Grupo de Hidrología Subterránea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de La Coruña. Visual BALAN (VB) está basado en el código BALAN (Samper y García Vera, 1992) realiza balances diarios de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero. Los términos de entrada al programa son la precipitación y los retornos riego; mientras que las salidas son: escorrentía superficial, evapotranspiración, flujo hipodérmico y flujo subterráneo, así como la variación del contenido de humedad en el suelo, en la zona no saturada y de agua en el acuífero. El programa no tiene en cuenta ni las salidas por bombeos ni el efecto de las mareas.

El programa evalúa cada uno de los términos del balance de forma secuencial, comienza por la precipitación y las dotaciones de riegos, que son datos conocidos, continua con la interceptación, la escorrentía superficial y la evapotranspiración real (ETR) y finalmente termina con la recarga en tránsito, que constituye la entrada de agua a la zona no saturada. En la zona vadosa se evalúa primero la salida subhorizontal por flujo hipodérmico y posteriormente la recarga al acuífero. El balance se realiza para un intervalo de cálculo diario. La evapotranspiración potencial (ETP) se puede calcular mediante distintos métodos, existe la posibilidad de proporcionar valores conocidos de la ETP. Para el cálculo de la ETR a partir de la ETP, Visual BALAN incorpora los métodos siguientes: Penman-Grindley, una versión modificada de éste, un tercer método en el que la fracción ETR/ETP es una función lineal del déficit hídrico del suelo y un último método en el que esta fracción es una función exponencial.

El balance lo realiza para un intervalo de cálculo diario. El programa calcula valores diarios del nivel de agua en un piezómetro representativo y caudal de descarga en el punto de salida de la cuenca. El programa permite realizar automáticamente la calibración de los parámetros del modelo a partir de datos de nivel piezométrico y/o el caudal, así como un análisis de sensibilidad para evaluar los resultados de los cálculos.

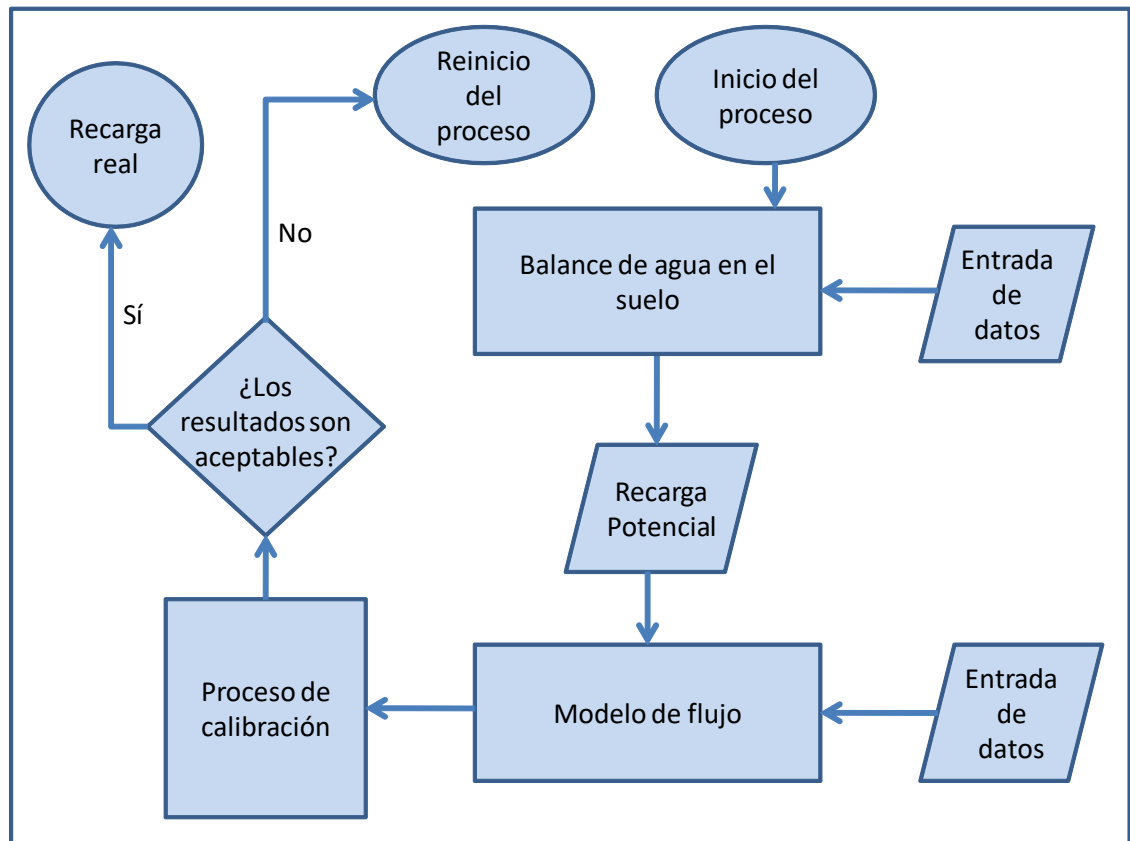
Las variables y parámetros agro-meteorológicos demandadas por el modelo conceptual de balance deben estar definidos en todo el dominio del modelo. El dominio se corresponde con la zona de recarga del piezómetro, es decir, el área donde acaecen los eventos agro-meteorológicos que influyen de forma más directa en la evolución de los niveles del punto de observación piezométrico utilizados. Para elegir este dominio se ha buscado un emplazamiento lejos de la influencia de bombeos o de las mareas.

### **Anexo 3 Código RENATA**

RENATA (REcarga NATural a los Acuíferos) es un código de evaluación de la recarga a los acuíferos que combina dos metodologías tradicionales de estimación de este parámetro a través de un único proceso de cálculo iterativo (Figura 1). Dichos métodos son: el balance de agua en el suelo y la estimación de la recarga a los acuíferos mediante un modelo numérico de flujo en diferencias finitas. El enfoque conjunto y coordinado del empleo de ambas metodologías al unísono pretende garantizar una mejor coherencia entre los resultados que ofrece el balance de agua en el suelo -que proporciona la magnitud de la recarga potencial- y las fluctuaciones del nivel freático -que refleja los efectos de la recarga real- en el acuífero.

Los resultados que proporciona un balance de humedad en el suelo se vienen utilizando, desde hace algún tiempo, como datos de entrada a un modelo numérico de flujo, para que este valide la bondad de la estimación realizada, pero sin que ambos procesos de cálculo se interrelacionen automáticamente entre sí mediante una única sistemática de procesamiento de datos. Esta era la forma en que operaba la primera versión de RENATA (DPA-IGME, 2012).

La nueva versión de RENATA, que es la que se emplea en el presente documento, se caracteriza por presentar un procedimiento de cálculo y calibración continuo que lo hacen novedoso, versátil y sencillo de manejar, aunque su utilización exige disponer de un modelo conceptual del acuífero robusto y plausible.



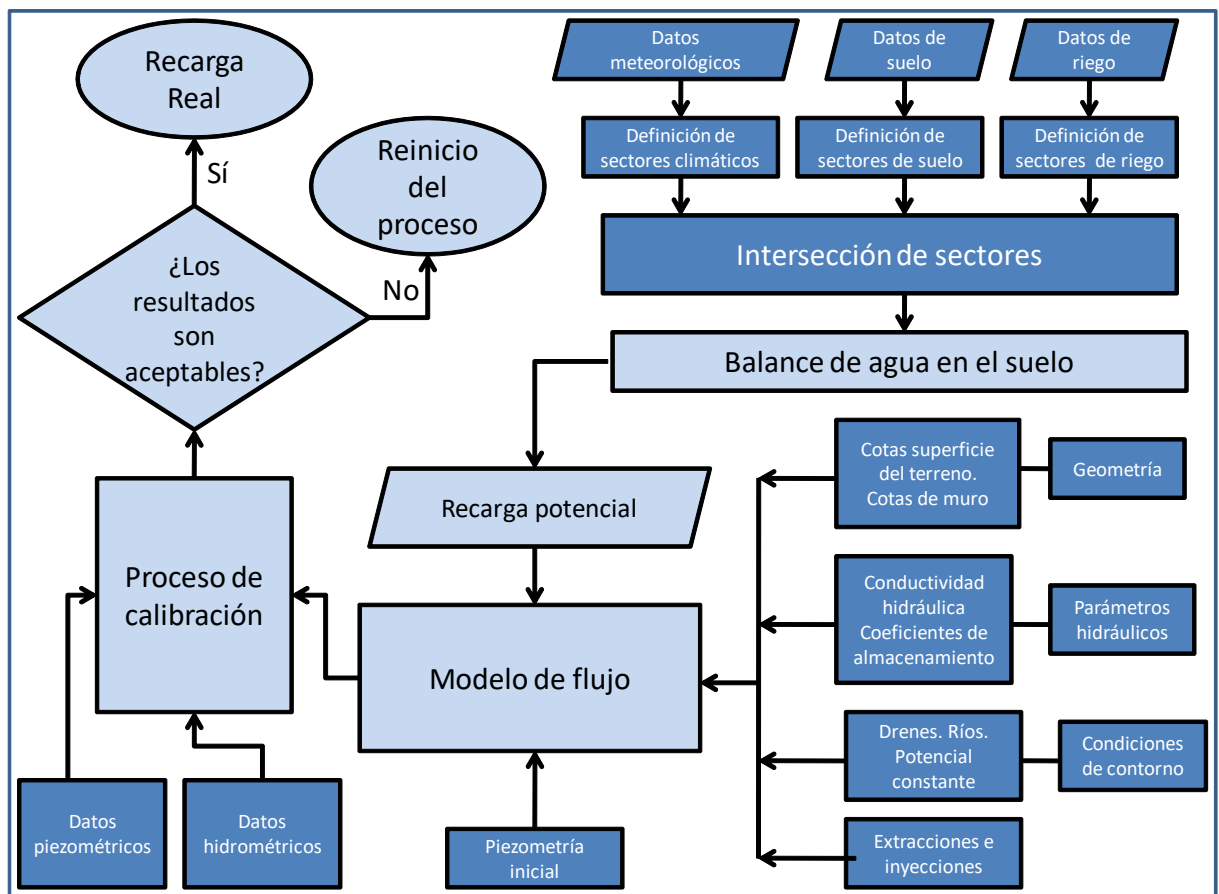
**Figura 1. Diagrama de flujo del código RENATA**

El código opera el balance de agua en el suelo de manera distribuida a partir de dividir la superficie permeable del terreno sobre la que se puede infiltrar agua en tres tipos de sectores: climáticos, suelo y riego. El proceso de cálculo permite definir y calibrar de forma distribuida un parámetro tan incierto y difícil de determinar como la reserva de agua en el suelo. RENATA, una vez calibrado, también se puede utilizar como una herramienta complementaria de apoyo a la predicción y a la simulación de hipótesis de gestión, siempre que no sea recomendable o preciso realizar una modelación de flujo más específico o de mayor detalle.

La aplicación de este código ofrece una serie de ventajas frente a otras metodologías de estimación de la recarga a los acuíferos como son:

- Utiliza parámetros distribuidos y tiene en cuenta el valor de la precipitación y de la temperatura en el tiempo y en el espacio.
- Calcula la recarga a nivel diario y proporciona series temporales de la misma en toda la superficie del acuífero para cada una de las celdas de la malla en las que se subdivide su superficie.
- Permite la simulación del flujo subterráneo, por lo que los valores de recarga son ajustados y calibrados con series de niveles piezométricos e hidrogramas de las descargas.

- En el ajuste y calibración también se pueden incluir las series de extracciones históricas. La estimación de la recarga mediante la aplicación del código RENATA contempla los pasos que se sintetizan en la figura 2.



**Figura 2. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa**

En el documento elaborado por DPA-IGME (2012) titulado “RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario” se detallan con precisión todos los métodos de los que dispone el programa para calcular la evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, lluvia útil, infiltración y escorrentía superficial.

El balance de agua en el suelo se ha obtenido aplicando la siguiente metodología:

- Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) mediante el método la expresión de Hargreaves y Samani (1985) aplicado a los datos de las estaciones termométrica.
- Determinación de la lluvia útil ( $LL_U$ ) mediante el método del balance de agua en el suelo de Thornthwaite modificado por G. Girard (1981)
- Descomposición de la lluvia útil ( $LL_U$ ) en escorrentía (ESC) e infiltración (INF) mediante el método del Soil Conservation Service de los EEUU.