

# ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

MEMORIA

2020



# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	ANTECEDENTES .....	1
1.2	OBJETIVO .....	1
1.3	ÁMBITO TERRITORIAL .....	2
1.4	ESTUDIOS PREVIOS Y COMPLEMENTARIOS .....	3
<b>2</b>	<b>RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN</b> .....	<b>5</b>
2.1	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO .....	5
2.1.1	Recopilación y análisis de datos existentes .....	5
2.1.2	Completado de datos de precipitación .....	13
2.2	ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA - $ET_o$ .....	18
2.3	ANÁLISIS FORONÓMICO .....	21
2.3.1	Estaciones de aforo .....	21
2.3.2	Restitución al régimen natural .....	23
2.4	MAPAS DE PARÁMETROS .....	30
2.4.1	Parámetros Geomorfológicos .....	30
2.4.2	Parámetros derivados de la topografía .....	34
<b>3</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO</b> .....	<b>36</b>
3.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO .....	36
3.2	SÍNTESIS DE LOS DATOS NECESARIOS PARA EL MODELO .....	38
3.3	CALIBRACIÓN DE LOS FACTORES CORRECTORES .....	40
3.4	SIMULACIÓN .....	51
3.5	PROLONGACIÓN DE LAS SERIES DE APORTACIONES NATURALES .....	55
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>56</b>
4.1	CÁLCULO DE APORTACIONES POR UNIDAD HIDROLÓGICA .....	56
4.2	CONCLUSIONES OBTENIDAS EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN .....	57
4.3	CONCLUSIONES GENERALES .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estaciones de precipitación en la CAPV seleccionadas para el presente estudio. ..	7
Tabla 2.	Comparación entre la media y la desviación típica de las series completadas .....	16
Tabla 3.	Evapotranspiración promedio anual por unidad hidrológica. Periodo 1980-2016 ..	20
Tabla 4.	Estaciones de aforo consideradas en los modelos.....	21
Tabla 5.	Estaciones de aforo restituidas a régimen natural .....	29
Tabla 6.	Localización de las Estaciones de aforo utilizadas en la calibración .....	43
Tabla 7.	Parámetros utilizados en la calibración .....	45
Tabla 8.	Localización de las Estaciones de aforo utilizadas en la validación .....	50
Tabla 9.	Resumen del balance hídrico por simulación para el periodo 1980-2018 .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> - Ámbito territorial .....	3
<i>Figura 2.</i> - Estaciones pluviométricas seleccionadas .....	6
<i>Figura 3.</i> - Diagrama de flujo de funcionamiento de CLIMATOL .....	13
<i>Figura 4.</i> - Localización de los puntos de cálculo de ETP .....	19
<i>Figura 5.</i> - Evapotranspiración promedio anual(mm) .....	20
<i>Figura 6.</i> - Estaciones de Aforo .....	23
<i>Figura 7.</i> - Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (mm) .....	32
<i>Figura 8.</i> - Capacidad de percolación del estrato rocoso (cm/h) .....	32
<i>Figura 9.</i> - Capacidad de infiltración del suelo (cm/h) .....	33
<i>Figura 10.</i> - Capacidad de pérdidas del acuífero.....	33
<i>Figura 11.</i> - Modelo digital de elevaciones (msnm).....	34
<i>Figura 12.</i> - Pendiente en porcentaje .....	35
<i>Figura 13.</i> - Red de drenaje.....	35
<i>Figura 14.</i> - Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS .....	37
<i>Figura 15.</i> - Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS .....	38
<i>Figura 16.</i> - Calificación de los procesos de calibración y validación utilizando el NSE .....	41
<i>Figura 17.</i> - Ejemplo de CDC de la estación de aforo NB05 - Abusu.....	42
<i>Figura 18.</i> - Calibración de la estación de aforo Altzola en la U.H. Deba.....	46
<i>Figura 19.</i> - Calibración de la estación de aforo Altzola en la U.H. Deba –representación logarítmica .....	46
<i>Figura 20.</i> - Calibración de la estación de aforo Oleta en la U.H. Lea .....	47
<i>Figura 21.</i> - Calibración de la estación de aforo Oleta en la U.H. Lea –representación logarítmica .....	47
<i>Figura 22.</i> - Calibración de la estación de aforo Amorebieta en la U.H. Ibaizabal .....	48
<i>Figura 23.</i> - Calibración de la estación de aforo Amorebieta en la U.H. Ibaizabal –representación logarítmica .....	48
<i>Figura 24.</i> - Calibración de la estación de aforo Oiartzun en la U.H. Oiartzun.....	49
<i>Figura 25.</i> - Calibración de la estación de aforo Oiartzun en la U.H. Oiartzun –representación logarítmica .....	49
<i>Figura 26.</i> - Validación espacial en la estación de aforo Gatika de la U.H. Butroe .....	51



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

La **Directiva 2000/60/CE**, de 23 de octubre, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DMA). Dando cumplimiento a dicha Directiva, mediante el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, se aprobó la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones que forman parte de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Estos planes fueron el resultado de la revisión de los planes hidrológicos del primer ciclo (2009-2015) y se presentaron en un proceso coordinado con la elaboración de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Como parte integrante de las tareas realizadas para la elaboración del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental del segundo ciclo, se realizó el trabajo relativo a la actualización de la evaluación de recursos hídricos, cuya base principal la constituyeron los estudios previos elaborados en el ámbito de la CAPV en relación con la cuantificación de los recursos hídricos naturales.

En la actualidad, la Agencia Vasca del Agua está trabajando en la futura revisión del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. En este contexto se produce la necesidad de revisar la evaluación de recursos hídricos de la Comunidad Autónoma del País Vasco, de tal forma que se pueda contribuir a la revisión y perfeccionamiento de los caudales ecológicos y a la mejora de la gestión de los sistemas de abastecimiento, especialmente. Por lo tanto, la actualización de la evaluación de recursos hídricos de la CAPV realizada en el marco del presente estudio, constituirá una de las bases para la revisión del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

El presente documento consta de cuatro capítulos y cuatro anejos. El primer capítulo engloba el objetivo del estudio así como el ámbito territorial y una descripción de los estudios previos, en el segundo se realiza una descripción de toda la información recopilada y un análisis de la misma así como la estimación de los parámetros esenciales para la puesta en funcionamiento del modelo, en el tercer capítulo se recoge una descripción del modelo utilizado, la calibración y validación de los factores correctores y una relación de las simulaciones realizadas y finalmente, en el cuarto capítulo se abordan las de conclusiones y el análisis de resultados.

En cuanto a los anejos, el **anejo I** contiene la guía “Homogeneización de series climáticas con Climatol. Versión 3.1.1.”, el **anejo II** muestra los informes generados por Climatol para cada grupo de estaciones completadas. En el **anejo III** se presenta el manual de usuario del programa TETIS y el modelo conceptual del mismo y en el **anejo IV** se presenta la base de datos que contiene los datos diarios de las variables precipitación, ETP y caudal utilizadas para el desarrollo del trabajo, así como los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas en las estaciones de aforo y en las masas de agua.

## 1.2 OBJETIVO

El objeto principal del trabajo es la ampliación de las series de recursos naturales diarios en toda la red fluvial de la CAPV hasta septiembre de 2016, mediante la actualización y mejora de los modelos TETIS disponibles. El estudio busca, principalmente, la correcta simulación de los caudales en régimen natural en periodos de estiaje, utilizando para ello la mejor información disponible en cada caso.

Para alcanzar dicho objetivo, el presente estudio se ha dividido en los siguientes trabajos:

- Recopilación de la información hidrometeorológica y otra de interés. Depuración y completado de la misma.
- Restitución a régimen natural de las series en régimen alterado.

- Estimación de parámetros del modelo.
- Análisis crítico de los factores correctores del modelo.
- Recalibración de los modelos TETIS.
- Validación espacial de los modelos TETIS recalibrados.
- Simulación de series completas 1980-2016 en los puntos de interés y la prolongación de las series a 2018.
- Conclusiones y presentación de resultados.

La mejora del conocimiento de los recursos hídricos de la CAPV se considera un elemento fundamental para una adecuada planificación y gestión del agua, debido a que constituye la base principal de los modelos de gestión de los sistemas de abastecimiento, así como de los estudios de perfeccionamiento de los regímenes de caudales ecológicos.

### 1.3 ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito del trabajo del presente estudio es la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), que cuenta con una superficie de 7.234 km<sup>2</sup> y una población de 2.207.776 habitantes (2019).

La CAPV está integrada en tres demarcaciones hidrográficas, dos de ellas en la vertiente cantábrica:

- Demarcaciones Hidrográficas del Cantábrico Oriental
- Demarcaciones Hidrográficas del Cantábrico Occidental

y la otra en la vertiente mediterránea:

- Demarcación Hidrográfica del Ebro

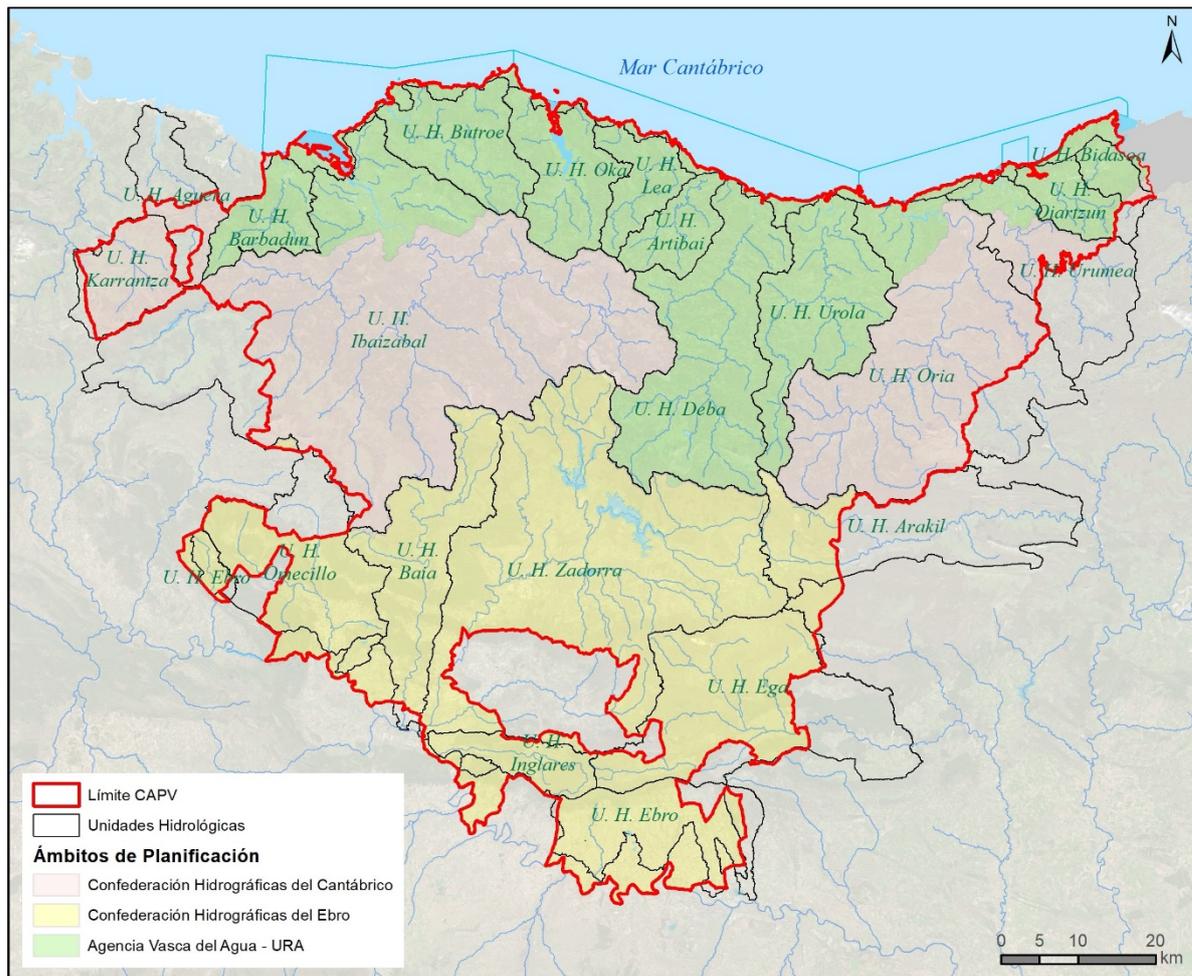
La Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental incluye dos ámbitos competenciales de planificación: por un lado, las Cuencas Internas del País Vasco (CIPV), cuya competencia en materia de aguas recae en la CAPV a través de la Agencia Vasca del Agua y, por otro lado, las cuencas intercomunitarias de esta vertiente cantábrica, de competencia estatal, ejercida a través de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. La Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, por su parte, tiene una reducida extensión en la CAPV y es de competencia estatal ejercida a través de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Por último, la Demarcación Hidrográfica del Ebro, también de competencia estatal ejercida en este caso por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se extiende por la mayor parte de Álava, además de por una pequeña parte de los territorios históricos de Bizkaia y Gipuzkoa.

Como elemento territorial de referencia y análisis se han adoptado las Unidades Hidrológicas del Mapa Hidrológico de la CAPV. Las cuencas hidrográficas significativas son 21<sup>1</sup>, de las que 14 vierten al Cantábrico y el resto al Mediterráneo. Como algunas de las unidades hidrológicas tienen parte de su territorio en otras Comunidades Autónomas contiguas (Navarra, Castilla y León, Cantabria y La Rioja), será necesario recopilar información de caracterización física e hidrometeorológica de estas áreas.

---

<sup>1</sup> Se han agrupado los pequeños afluentes directos al Ebro por su margen izquierda. Hay pequeñas superficies de otras dos subcuencas del Ebro, Purón y Jerea, pero con muy escasa significación.

Figura 1. - Ámbito territorial



## 1.4 ESTUDIOS PREVIOS Y COMPLEMENTARIOS

Existen varios referentes básicos relacionados con el cálculo de los recursos hídricos naturales en la CAPV:

1. El estudio de "Evaluación de los Recursos Hídricos Totales en el ámbito de la CAPV" hasta el año 2000, elaborado por Intecsa - Inarsa, S.A. para la antigua Dirección de Aguas del Gobierno Vasco, aplicando el programa TETIS 5.0. Su objetivo era obtener series diarias de aportación que cubrieran el periodo 1951/2000. En una primera fase, se generaron series en 123 puntos y en el año 2003 se ampliaron a 444 puntos.
2. El estudio de "Ampliación e introducción de series nuevas hasta Oct-2005 en el modelo de simulación hidrológica TETIS" realizado por técnicos del Ente Vasco de la Energía, para la Antigua Dirección de Aguas del Gobierno Vasco. Este estudio tenía como objetivo actualizar los datos de entrada al modelo hasta octubre de 2005, así como analizar la distorsión que se introduce al incorporar nuevas estaciones meteorológicas que no fueron contempladas en el estudio previo.
3. El estudio de "Calibración del modelo hidrológico para simulación de avenidas" realizado por la empresa Sener Ingeniería y Sistemas, S.A. para la Agencia Vasca del Agua. Este trabajo se realizó con la finalidad de ajustar el modelo TETIS para su empleo como herramienta preliminar de predicción dentro del Sistema de Ayuda a la Decisión.

4. La "Actualización del modelo Sacramento y análisis hidrológico en las cuencas con estaciones de aforo del Territorio Histórico de Gipuzkoa". Este trabajo consistió en la calibración del modelo Sacramento en las cuencas aforadas del Territorio Histórico de Gipuzkoa y en la obtención de nuevas series diarias de caudal circulante de enero de 1961 a septiembre de 2008.
5. El estudio de "Actualización de la evaluación de recursos hídricos de la CAPV 2010" redactado con la asistencia técnica de Intecsa-Inarsa, S.A. para la Agencia Vasca del Agua aplicando el programa TETIS 8.1. Su objetivo era la actualización de los recursos hídricos totales de la CAPV, para su consideración en el segundo ciclo de planificación, mediante la ampliación de las series de recursos diarios de la red fluvial hasta septiembre de 2010.
6. El estudio de "Caracterización termo-pluviométrica de la CAPV y entorno. Periodo (1/10/2009 – 30/9/2016)" realizado con la asistencia técnica de TECNALIA para la Dirección de Atención de Emergencias del Gobierno Vasco. En este estudio se elaboró una base de datos pluviométrica de la CAPV para el periodo 2010-2016 con las series diarias validadas de pluviometría y de temperatura del aire.

Por otro lado, el Centro de Estudios De Experimentación y Obras Públicas (CEDEX), trabaja continuamente en la mejora y actualización del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), para la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural. De cara al tercer ciclo de planificación el CEDEX ha realizado diversas mejoras en dicho modelo: tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), que han permitido que sea posible usar la información disponible de evapotranspiración potencial desagregándola a nivel diario en este estudio.

## 2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los múltiples estudios realizados en los últimos años en la CAPV han permitido recopilar un elevado número de datos hidrometeorológicos y a su vez realizar el análisis y su posterior depuración y corrección.

### 2.1 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

El análisis pluviométrico se ha realizado en dos fases: la primera de ellas consistente en la recopilación y análisis de los datos de estudios existentes y la segunda en el completado de los datos hasta el año 2016 para para las estaciones pluviométricas seleccionadas.

#### 2.1.1 Recopilación y análisis de datos existentes

Para la realización de este trabajo, se cuenta con la siguiente información relativa a datos de precipitación:

- La información de partida utilizada en los modelos TETIS disponibles, para los periodos del 1/10/1980 al 30/9/2000 y del 1/10/2000 al 30/9/2010, con un total de 221 y 236 estaciones, respectivamente.
- La información suministrada por URA que cubre el período del 1/10/1980 al 31/12/2016, para un total de 208 estaciones.
- La información utilizada en el estudio de Caracterización Termo-pluviométrica de la CAPV y entorno, para el periodo 1/10/2009 a 30/9/2016. Estos datos están divididos en 186 estaciones automáticas y 349 manuales.

En el estudio realizado por Intecsa-Inarsa, S.A. en el año 2010, se diferenciaron dos periodos de datos: uno para las calibraciones, que comprende de octubre del 2000 a septiembre de 2010, en el que se utilizaron 211 estaciones de precipitación y otro para las validaciones y posterior generación de series, en el que se hizo uso de las series de 236 estaciones de precipitación utilizadas en estudios previos. De éstas estaciones únicamente 163 son coincidentes entre ambos periodos y de éstas, solo 60 se encuentran en la base de datos facilitada por URA. Por tanto, sólo en estas últimas estaciones se han podido diferenciar los datos originales de los completados y analizar posibles desviaciones.

Con esta información se han realizado dos análisis diferentes: por un lado, se han analizado las posibles desviaciones entre los datos proporcionados por URA y los utilizados en los modelos previos; y, por otro lado, se han estudiado las desviaciones entre los datos completados por TECNALIA y los datos utilizados en los modelos previos.

El primer análisis realizado muestra desviaciones que se agudizan en el segundo periodo y alcanzan frecuentemente valores medios de entre el 5% y el 10%, con valores menores en los datos de precipitación utilizados en los modelos con respecto a los datos proporcionados por URA.

El resultado del segundo análisis muestra que hay una tendencia a que los valores utilizados en los modelos disponibles sean menores que los completados por TECNALIA.

Una vez seleccionadas las estaciones a utilizar y analizados sus datos, se ha procedido a la creación de las series de todas ellas, utilizando en cada caso la mejor información disponible.

A continuación, se muestra un mapa y una tabla resumen de las estaciones pluviométricas consideradas para desarrollar el presente estudio, las coordenadas se expresan en el sistema ETRS89.



Tabla 1. Estaciones de precipitación en la CAPV seleccionadas para el presente estudio.

Indicativo	Nombre Estación	UH	Provincia	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de datos	Tipo	Fecha Inicio Registro	Fecha Fin Registro	Nº Años Registro	Nº datos	P. media (mm)
AGP2	Cueto	Agüera	Bizkaia	477688	4791303	311	DFB	Automática	10/01/2006	30/09/2016	10	3653	1539
9269	Altsasu	Arakil	Navarra	567131	4749575	525	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1220
1053	Etxebarria	Artibai	Bizkaia	542354	4789020	100	AEMET	Manual	01/10/1980	30/09/2010	30	10957	1415
ARP1	Ondarru	Artibai	Bizkaia	544605	4796145	88	DFB	Automática	01/02/1998	30/09/2010	30	4619	1247
IBP6	Garai	Artibai	Bizkaia	536565	4784590	570	DFB	Manual	01/10/2000	30/09/2010	30	3652	1863
9072I	Sendadiano	Baia	Álava/Araba	507293	4748418	604	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1035
9072G	Izarra	Baia	Álava/Araba	508576	4755668	612	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1064
9069	Miranda De Ebro	Baia	Álava/Araba	505700	4726900	471	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	517
BAP1	Jarralta	Barbadun	Bizkaia	486442	4792125	179	DFB	Automática	10/01/2006	30/09/2016	10	3653	1183
1083	Arcentales	Barbadun	Bizkaia	481913	4785332	220	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1221
1014	San Sebastián/Hondarribia	Bidasoa	Gipuzkoa	597873	4801163	4	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1658
F1W1	Endara	Bidasoa	Gipuzkoa	599653	4791540	273	DFG	Automática	11/28/1996	30/09/2016	20	7247	2250
1057E	Bakio	Butroe	Bizkaia	514805	4807752	40	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1295
COD3	Aixola (Embalse)	Deba	Gipuzkoa	540553.3	4777898.3	320	EUSKALMET	Automática	10/10/1989	30/09/2016	27	9853	1416
1048	Aretxabaleta-Urkulu	Deba	Gipuzkoa	542991	4763541	335	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1235
COD0	Urkulu (Embalse)	Deba	Gipuzkoa	542996.6	4762176.5	340	EUSKALMET	Automática	3/17/1989	30/09/2016	28	10060	1111
ARAO	Araatz (Pluviómetro)	Deba	Gipuzkoa	543354	4760985	726	DFG	Automática	4/14/2005	30/09/2016	11	4188	1062
COD2	San Prudentzio (Deba)	Deba	Gipuzkoa	544977.4	4770015.8	175	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1286
COD1	Zubillaga (Oñati)	Deba	Gipuzkoa	545799.4	4767649	195	EUSKALMET	Automática	10/01/1998	30/09/2016	18	6575	1195
1049	Bergara (Albitxu)	Deba	Gipuzkoa	546577	4775349	205	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1484
1050L	Elgoibar-Santa Clara	Deba	Gipuzkoa	547144	4784824	50	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1488
ARAN	Arantzazu (Pluviómetro)	Deba	Gipuzkoa	547386	4759382	600	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1121
1050J	Elgoibar,Iberdrola	Deba	Gipuzkoa	547656	4784241	120	AEMET	Manual	10/01/2000	30/09/2016	16	5844	1290
C078	Altzola (Deba)	Deba	Gipuzkoa	548889.4	4787643.2	25	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1480
MEND	Mendaro	Deba	Gipuzkoa	550609	4788574	45	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1343
ELOS	Elosua (Pluviómetro)	Deba	Gipuzkoa	551032	4775383	726	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1235

ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

Indicativo	Nombre Estación	UH	Provincia	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de datos	Tipo	Fecha Inicio Registro	Fecha Fin Registro	Nº Años Registro	Nº datos	P. media (mm)
LAST	Lastur (Pluviómetro)	Deba	Gipuzkoa	554285	4786830	546	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1410
1049U	Ermua	Deba	Gipuzkoa	539869	4782002	240	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1500
1049O	Elgueta-Aixola	Deba	Gipuzkoa	539954	4779010	262	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1542
9175	Lagran (Villaverde)	Ega	Álava/Araba	533884	4719132	756	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	836
9176	Bernedo	Ega	Álava/Araba	541105	4719264	740	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	748
9176U	Genevilla	Ega	Navarra	549701	4721232	630	NAVARRA	Manual	06/01/1990	30/09/2016	26	9619	712
9178C	Santa Cruz Campezo	Ega	Álava/Araba	553594	4724439	570	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	785
9178H	Galbarra	Ega	Navarra	561294	4728883	579	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	853
C0C2	Balmaseda (Kadagua)	Ibaizabal	Bizkaia	482190.3	4780293.2	178	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	1122
1079E	Artziniega	Ibaizabal	Álava/Araba	489232	4774118	210	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1057
C0C1	Aranguren (Kadagua)	Ibaizabal	Bizkaia	489639.4	4784341.7	92	EUSKALMET	Automática	11/21/1995	30/09/2016	21	7620	1079
C0C4	Sodupe-Herrerias	Ibaizabal	Bizkaia	496375.5	4783079.3	70	EUSKALMET	Automática	4/17/2000	30/09/2016	16	6011	1265
C051	Saratxo (Nerbioi)	Ibaizabal	Bizkaia	499675.5	4764395.7	230	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	876
G0P2	Algorta	Ibaizabal	Bizkaia	499779	4799580	49	DFB	Automática	07/01/2009	30/09/2016	7	2649	1101
G0P3	Gobelas En Urduliz	Ibaizabal	Bizkaia	501060.8	4801250	76	DFB	Automática	04/07/2010	30/09/2016	6	2369	1128
C067	Gardea (Nerbioi)	Ibaizabal	Bizkaia	501606.7	4774729.5	141	EUSKALMET	Automática	10/01/1996	30/09/2016	20	7305	1071
C0B4	Orozko (Altube)	Ibaizabal	Bizkaia	506883.5	4770195.8	200	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	1125
C0B1	Abusu (Nerbioi)	Ibaizabal	Bizkaia	507010.6	4788083.1	23	EUSKALMET	Automática	10/15/1996	30/09/2016	20	7291	1235
1082	Bilbao/Aeropuerto	Ibaizabal	Bizkaia	507593	4793919	42	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1130
C0B2	Zaratamo (Nerbioi)	Ibaizabal	Bizkaia	509799	4785042.6	65	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	1152
1081U	Derio-Neiker	Ibaizabal	Bizkaia	510276	4793089	29	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1344
C0B3	Urkizu (Arratia)	Ibaizabal	Bizkaia	518520.1	4781159.1	75	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	1277
C079	Amorebieta (Ibaizabal)	Ibaizabal	Bizkaia	521682.6	4784893.4	65	EUSKALMET	Automática	10/01/1998	30/09/2016	18	6575	1321
C0B6	Berna (Ibaizabal)	Ibaizabal	Bizkaia	526623.7	4781432.4	95	EUSKALMET	Automática	10/01/1995	30/09/2016	21	7671	1378
IBP7	Garaizar	Ibaizabal	Bizkaia	530996	4780450	170	DFB	Automática	10/01/2002	30/09/2016	14	5114	1255
1070	Abadiano (Mendiola)	Ibaizabal	Bizkaia	531039	4776371	187	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1405
C074	Elorrio	Ibaizabal	Bizkaia	535908.3	4775196.8	170	EUSKALMET	Automática	10/01/2000	30/09/2016	16	5844	1302
1075E	Aránzazu	Ibaizabal	Bizkaia	517015	4777218	98	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1324

ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

Indicativo	Nombre Estación	UH	Provincia	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de datos	Tipo	Fecha Inicio Registro	Fecha Fin Registro	Nº Años Registro	Nº datos	P. media (mm)
1077P	Villasana De Mena E.F.P.	Ibaizabal	Bizkaia	476790	4771683	319	AEMET	Manual	05/01/1985	30/09/2016	31	11476	1010
1078E	Balmaseda	Ibaizabal	Bizkaia	484502	4783228	320	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1314
9103X	Zambrana	Inglares	Álava/Araba	509756	4723065	459	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	527
9103	Peñacerrada	Inglares	Álava/Araba	523330	4721186	744	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	735
1089	Arredondo	Karrantza	Cantabria	451560	4791280	160	AEMET	Manual	05/01/1994	30/09/2016	22	8189	1679
1096U	Treto	Karrantza	Cantabria	461961	4804973	10	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1264
1095C	Udalla	Karrantza	Cantabria	463173	4796205	90	AEMET	Manual	01/01/1987	30/09/2016	30	10866	1485
KRP2	Pedraja	Karrantza	Bizkaia	471394	4784969	250	DFB	Automática	06/04/2007	30/09/2016	9	3407	1128
1086	Laredo	Karrantza	Cantabria	466676	4805812	5	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1082
1055A	Lekeitio-Agustinas	Lea	Bizkaia	539917	4801221	15	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1174
C0F4	Oiartzun	Oiartzun	Gipuzkoa	590462	4795485.7	53	EUSKALMET	Automática	9/18/1998	30/09/2016	18	6588	1507
OIAR	Oiartzun	Oiartzun	Gipuzkoa	596645	4792980	160	DFG	Automática	07/12/1990	30/09/2016	26	9578	1994
C063	Muxika (Oka)	Oka	Bizkaia	525219.3	4792824.2	16	EUSKALMET	Automática	11/11/1998	30/09/2016	18	6534	1387
9062V	Villanueva De Valdegovia	Omecillo	Álava/Araba	492215	4744070	557	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	750
9064	Salinas De Añana	Omecillo	Álava/Araba	500891	4738667	566	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	672
9064A	Salinas De Añana (Monasterio)	Omecillo	Álava/Araba	501256	4738235	620	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	638
9064I	Espejo	Omecillo	Álava/Araba	495918	4739501	497	AEMET	Manual	01/10/1980	30/09/2016	36	13149	660
9060D	Lalastra	Purón	Álava/Araba	481237	4747384	911	AEMET	Manual	01/10/1980	30/09/2016	36	12054	830
TROY	Troya (Pluviómetro)	Oria	Gipuzkoa	557370	4765545	440	AEMET	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1068
1025N	Arriaran (Presa)	Oria	Gipuzkoa	561931	4769054	255	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1336
COE7	Estanda (Estanda)	Oria	Gipuzkoa	563625.3	4766668.2	195	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1109
1026A	Ordizia-Central Aguas	Oria	Gipuzkoa	566201	4767274	195	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1264
COE5	Agauntza (Agauntza)	Oria	Gipuzkoa	567024.8	4762918.1	180	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1110
LAUR	Laurgain	Oria	Gipuzkoa	568702	4789221	210	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1369
COE1	Amundarain	Oria	Gipuzkoa	569176.5	4764667.4	111	EUSKALMET	Automática	11/30/2001	30/09/2016	15	5419	1083
IBIU	Ibiur (Pluviómetro)	Oria	Gipuzkoa	571315	4769050	270	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1168
ZALD	Zaldibia (Pluviómetro)	Oria	Gipuzkoa	571320	4761615	375	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1297
C4Z1	Ibiur	Oria	Gipuzkoa	571731.1	4768128.9	173	DFG	Automática	9/17/2009	30/09/2016	7	2571	1128

ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

Indicativo	Nombre Estación	UH	Provincia	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de datos	Tipo	Fecha Inicio Registro	Fecha Fin Registro	Nº Años Registro	Nº datos	P. media (mm)
C0E9	Alegia (Oria)	Oria	Gipuzkoa	572841.8	4772290.5	90	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1293
C0EA	Belauntza (Berastegi)	Oria	Gipuzkoa	577382	4776858.6	105	EUSKALMET	Automática	5/21/1999	30/09/2016	17	6343	1412
C0E8	Araxes	Oria	Gipuzkoa	577476.5	4773785.4	141	EUSKALMET	Automática	3/30/2011	30/09/2016	6	2012	1314
1035	Lasarte-Michelin	Oria	Gipuzkoa	579333	4791603	85	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1612
C0EC	Lasarte	Oria	Gipuzkoa	579464.3	4789128.5	18	EUSKALMET	Automática	3/27/2000	30/09/2016	17	6032	1420
C8Z1	Leitzaran	Oria	Gipuzkoa	579978.3	4784421.6	94	DFG	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1368
1033U	Urnietta (Vivero)	Oria	Gipuzkoa	581892	4786944	75	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1679
1029E	Betelu	Oria	Navarra	583256	4763882	237	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1521
1033E	Areso-Guereñoenea	Oria	Navarra	585411	4770789	520	AEMET	Manual	01/01/1987	30/09/2016	30	10866	1850
1029C	Azpiroz-Casa Cia	Oria	Navarra	587740	4763753	545	AEMET	Manual	10/01/1983	30/09/2016	33	12054	1679
1032V	Leiza (Luis Emborda)	Oria	Navarra	590629	4771196	670	AEMET	Manual	03/01/1986	30/09/2016	31	11172	2171
1031	Elduayen	Oria	Gipuzkoa	581064	4776568	256	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1912
1026B	Lareo	Oria	Gipuzkoa	572513	4758393	745	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1894
LARE	Lareo (Embalse)	Oria	Gipuzkoa	572033	4758933	745	DFG	Automática	04/01/1990	30/09/2016	27	9680	1599
B1T1	Barrendiola	Urola	Gipuzkoa	553011	4761520	550	EUSKALMET	Automática	9/22/1989	30/09/2016	27	9871	1387
1037	Legazpia	Urola	Gipuzkoa	554097	4767384	402	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1446
BARR	Barrendiola: Pluviom+Metedata	Urola	Gipuzkoa	554107	4762714	505	DFG	Automática	9/22/1989	30/09/2016	27	9871	1387
C0DB	Aitzu (Alto Urola)	Urola	Gipuzkoa	555080.7	4773488.5	312	EUSKALMET	Automática	04/05/2000	30/09/2016	16	6023	1419
C0DC	Ibai Eder (Ibai Eder)	Urola	Gipuzkoa	560470.5	4780312.6	90	EUSKALMET	Automática	5/17/1997	30/09/2016	19	7077	1338
C0DD	Aizarnazabal (Urola)	Urola	Gipuzkoa	561513.5	4789229.2	25	EUSKALMET	Automática	07/10/1997	30/09/2016	19	7023	1219
C0DE	Matxinbenta	Urola	Gipuzkoa	562230.4	4773490.5	250	EUSKALMET	Automática	2/13/2002	30/09/2016	15	5344	1336
ERDO	Erdoizta	Urola	Gipuzkoa	566743	4783605	445	DFG	Automática	01/01/1991	30/09/2016	26	9405	1460
1041	Zumaia-Carmelitas	Urola	Gipuzkoa	560057	4793966	200	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1483
1036O	Legazpia (Barrendiola)	Urola	Gipuzkoa	553454	4762258	501	AEMET	Manual	03/01/1983	30/09/2016	34	12268	1610
1024E	San Sebastián, Igeldo	Urumea	Gipuzkoa	577768	4795286	251	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1511
1024	San Sebastián (Ategorrieta)	Urumea	Gipuzkoa	584991	4797010	8	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1511
C0F0	Ereñozu (Urumea)	Urumea	Gipuzkoa	586124.7	4788021.9	25	EUSKALMET	Automática	6/20/1998	30/09/2016	18	6678	1580
1021E	Rentería (Presa Del Añarbe)	Urumea	Gipuzkoa	591003	4784955	120	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	2010

ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

Indicativo	Nombre Estación	UH	Provincia	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de datos	Tipo	Fecha Inicio Registro	Fecha Fin Registro	Nº Años Registro	Nº datos	P. media (mm)
1020I	Arano (C. Arrambide)	Urumea	Navarra	591130	4784439	70	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	2093
1020	Goizueta	Urumea	Navarra	593086	4780053	320	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1999
C080	Añarbe	Urumea	Gipuzkoa	593406.5	4786511.8	184	EUSKALMET	Automática	10/28/1999	30/09/2016	17	6183	2013
ARTI	Artikutza-Eskas (Pluviómetro)	Urumea	Gipuzkoa	597266	4788304	650	DFG	Automática	10/22/1999	30/09/2016	17	6189	2619
1021	Artikutza	Urumea	Navarra	597644	4785085	305	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	2010
IGEL	Igeldo (Pluviómetro)	Urumea	Gipuzkoa	577881	4795505	250	DFG	Automática	10/01/2003	30/09/2016	13	4749	1359
9092C	Martioda	Zadorra	Álava/Araba	517820	4746926	521	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	744
9089C	Murua (Amvisa)	Zadorra	Álava/Araba	521325	4758164	618	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1058
9088O	Krispijana (Amvisa)	Zadorra	Álava/Araba	521571	4744747	500	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	806
9091O	Foronda-Txokiza	Zadorra	Álava/Araba	521641	4747739	513	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	745
9085C	Araca (Amvisa)	Zadorra	Álava/Araba	526618	4748405	563	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	797
9081	Retana Amvisa	Zadorra	Álava/Araba	528403	4749923	527	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	808
9084U	Escalmendi	Zadorra	Álava/Araba	529185	4747397	515	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	777
9076G	Durana (Amvisa)	Zadorra	Álava/Araba	529629	4749651	540	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	776
9078	Albina (Embalse)	Zadorra	Álava/Araba	530083	4759924	600	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1087
9082T	Gauna (La Ilarra)	Zadorra	Álava/Araba	540769	4741379	599	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	857
9074C	Arriola	Zadorra	Álava/Araba	549463	4751123	638	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	1005
9073I	Opacua	Zadorra	Álava/Araba	552279	4741673	674	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	869
9074A	Salvatierra	Zadorra	Álava/Araba	549484	4744613	590	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	839
9085I	Gámiz	Zadorra	Álava/Araba	531095	4740589	575	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	718
9097O	Arrieta-Ikasta	Zadorra	Álava/Araba	522302	4734817	205	AEMET	Manual	10/01/1980	30/09/2016	36	13149	802



## 2.1.2 Completado de datos de precipitación

Una vez se cuenta con las series de precipitación de las estaciones seleccionadas, se realiza el proceso de homogeneización. Para ello se cuenta con el software Climatol, desarrollado para su uso dentro del paquete R (entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico).

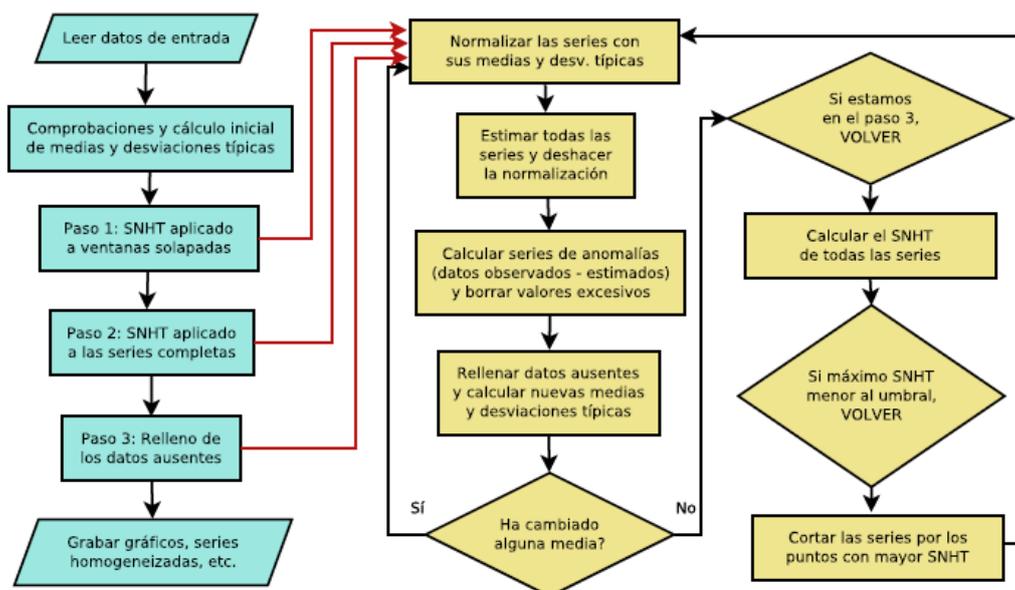
Como referencia se ha utilizado la guía “Homogeneización de series climáticas con Climatol. Versión 3.1.1.” desarrollada por José A. Guijarro, de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que se adjunta en el Anejo I.

En sus inicios, este programa estaba enfocado a rellenar los datos ausentes mediante estimaciones calculadas a partir de las series más próximas. Se adaptó el método de Paulhus y Kohler (1952) para rellenar precipitaciones diarias mediante promedios de valores de estaciones próximas, normalizados mediante división por sus respectivas precipitaciones medias. Este método se escogió por su simplicidad y por permitir el uso de series próximas, a pesar de no disponer de un periodo común de observaciones. Además de normalizar los datos mediante división por sus valores medios, Climatol ofrece también la posibilidad de hacerlo a través de una resta de las medias o mediante una estandarización completa.

El principal problema de esta metodología es que los estadísticos necesarios de las series en el periodo de estudio no se conocen si las series no están completas. Por eso, Climatol calcula primero dichos parámetros con los datos disponibles en cada serie, rellena los datos ausentes usando estas medias y desviaciones típicas provisionales, y vuelve a calcularlas con las series rellenadas. Después se vuelven a calcular los datos inicialmente ausentes usando los nuevos parámetros, lo que da lugar a nuevas medias y desviaciones típicas. El proceso se repite hasta que ningún estadístico cambia al redondearlo con la precisión inicial de los datos.

Las series estimadas de esta forma son de referencia para sus correspondientes series observadas, de forma que el siguiente paso es obtener series de anomalías restando los valores estimados a los observados (siempre de forma normalizada). Estas series de anomalías van a permitir controlar la calidad de los datos y eliminar aquellos valores anómalos que superen un umbral prefijado, así como comprobar su homogeneidad mediante la aplicación del Standard Normal Homogeneity Test (SNHT: Alexandersson, 1986).

Figura 3. - Diagrama de flujo de funcionamiento de CLIMATOL



A continuación, se describe el completado realizado para cada unidad hidrológica y, posteriormente, se muestra la calidad de los resultados obtenidos analizando las medias y desviaciones de las series originales y las completadas.

#### **2.1.2.1 U.H. Agüera**

En esta unidad se cuenta con solo una estación pluviométrica seleccionada para la modelación de los recursos hídricos, la estación Cueto (AGP2). Dicha estación cuenta con los registros completos de precipitación de 10 años, por lo que ha sido necesario realizar el completado de datos. Las estaciones de apoyo utilizadas en el proceso de homogeneización son las siguientes: AGP2, BAP1, 1083, 1078E, 1089, 1096U, 1095C, KRP2 y 1086.

#### **2.1.2.2 U.H. Arakil**

Se trata de una unidad con solo una estación pluviométrica seleccionada para la modelación de los recursos hídricos, la estación Altsasu (9269). Dicha estación está incompleta con un porcentaje de datos faltantes del 2%. Para el completado de datos, se ha procedido a su homogeneización tomando como estaciones de apoyo las más cercanas dentro del mismo rango de altitud, que son las siguientes 1026B y 9073I.

#### **2.1.2.3 U.H. Artibai**

Se trata de una unidad que cuenta con las estaciones de precipitación Etxabarria (1053), Ondarru (ARP1) y Garai (IBP6). Para el completado de datos, se ha procedido a su homogeneización tomando como estaciones de apoyo las más cercanas dentro del mismo rango de altitud, que en este caso son las estaciones 1050L, 1049U y 1055A, localizadas en las unidades Deba y Lea.

#### **2.1.2.4 U.H. Baia**

Para esta unidad hidrológica se han seleccionado 3 estaciones pluviométricas, de las que solo una (9072G) presenta datos incompletos. Para el completado de los datos de la estación, se ha procedido a su homogeneización, tomando como estaciones de apoyo las siguientes: 9072I, y 9069.

#### **2.1.2.5 U.H. Barbadun**

Para esta U.H. se han seleccionado 2 estaciones pluviométricas para la modelación de los recursos hídricos. Dichas estaciones cuentan con los registros completos de precipitación en el periodo de modelación, por lo que no ha sido necesario realizar el completado.

#### **2.1.2.6 U.H. Bidasoa**

Para esta U.H. se han seleccionado 4 estaciones pluviométricas: San Sebastián / Hondarribia (1014), Endara (F1W1), Artikutza / Eskas (ARTI) y Oiartzun (OIAR).

Para el completado de las estaciones F1W1, OIAR y ARTI, se han creado dos grupos (Lotes) que incluyen estaciones de las U.H. Oiartzun, Urumea y Bidasoa. El lote 1 está formado por las estaciones 1014, F1W1, C0F4, OIAR, 1024, C0F0, 1021E, 1020I y C080 y el lote 2 por las estaciones 1024E, 1020, ARTI, 1021 e IGEL. Estos lotes han sido tratados de manera independiente con la aplicación Climatol.

#### **2.1.2.7 U.H. Butroe**

Para la modelación de los recursos hídricos en esta U.H. se ha seleccionado una única estación pluviométrica: Bakio (1057E). Dicha estación presenta la serie de datos completa, por lo que no ha sido necesario realizar ningún proceso de completado.

#### **2.1.2.8 U.H. Deba**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta U.H. se han seleccionado 16 estaciones pluviométricas pertenecientes a las unidades Deba, Urola y Zadorra. De las estaciones seleccionadas, 11 cuentan con datos incompletos (ARAO, ARAN, 1050J, MEND, ELOS, LAST, C0D0, C0D1, C0D2, C0D3 y C078). Para su completado, se ha procedido a su homogeneización tomando como estaciones de apoyo las estaciones cercanas. De esta forma se han organizado 5 lotes de estaciones distribuidos así: Lote 1 compuesto por las estaciones C0D3, 1049U y 1049O; Lote 2 compuesto por las estaciones 1048 y C0D0; Lote 3 formado por las estaciones ARAO, ARAN, ELOS, LAST, 1037 y 9074C; Lote 4 con las estaciones C0D2, C0D1 y 1049, y Lote 5 con las estaciones 1050L, 1050J, C078 y MEND.

#### **2.1.2.9 U.H. Ega**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta U.H. se han seleccionado 5 estaciones pluviométricas 9175, 9176, 9176U, 9178C y 9178H. De estas, 3 presentan datos incompletos (9178C, 9178H y 9176). Para su completado, se ha procedido a su homogeneización utilizando las estaciones restantes.

#### **2.1.2.10 U.H. Ibaizabal**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica se han seleccionado 22 estaciones pluviométricas, de las que solo 6 presentan datos completos, el resto se han completado. Para ello se han organizado 3 lotes de estaciones distribuidos así: Lote 1: C0C1, C0C4, GOP2, GOP3, C0B1, 1082, C0B2 y 1081U; Lote 2: C0C2, 1079E, C051, C067, C0B4, 1077P y 1078E; Lote 3: C0B3, C079, C0B6, IBP7, 1070, C074 y 1075E.

#### **2.1.2.11 U.H. Inglares**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica se han seleccionado 2 estaciones, la estación 9103X (Zambrana) y la estación 9103 (Peñacerrada), que cuentan con el registro de datos completo.

#### **2.1.2.12 U.H. Karrantza**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica se ha seleccionado una estación pluviométrica, la KRP2 (Pedraja). Para el completado de los años faltantes de registro, se han seleccionado las estaciones 1089, 1096U, 1095C y 1086.

#### **2.1.2.13 U.H. Lea**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica se ha seleccionado una estación pluviométrica, la 1055A (Lekeitio - Agustinas), cuya serie de datos está completa.

#### **2.1.2.14 U.H. Oiartzun**

Para esta U.H. se han seleccionado 7 estaciones pluviométricas: San Sebastián – Ategorrieta (1024), Oiartzun (C0F4), Oiartzun (OIAR), Artikutza-Eskas (ARTI), San Sebastián/ Hondarribia (1014), Añarbe (C080) y Endara (F1W1). De estas estaciones únicamente Endara presenta datos incompletos, que han sido previamente procesados para la UH Bidasoa.

#### **2.1.2.15 U.H. Oka**

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica se ha seleccionado la estación Muxika (C063), cuya serie comienza a finales del año 1998. Para el completado de los años faltantes de registro, se han seleccionado las estaciones 1057E, 1082, 1081U y C063.

### 2.1.2.16 U.H. Omecillo

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica, se han seleccionado las estaciones pluviométricas Villanueva de Valdegovia (9062V), Salinas de Añana (9064), Salinas de Añana -Monasterio- (9064A), Espejo (9064I) y Lalastra (9060D). De estas estaciones solo la 9060D tiene registros incompletos, se ha procedido a su homogeneización, tomando como apoyo las otras cuatro estaciones seleccionadas.

### 2.1.2.17 U.H. Oria

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica, se han seleccionado 27 estaciones pluviométricas, de las cuales 15 presentan registros faltantes y de ellas 7 presentan un porcentaje por encima del 1% de datos faltantes. Para el completado se ha utilizado la aplicación Climatol, organizando un único lote de estaciones.

### 2.1.2.18 U.H. Urola

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica, se han seleccionado 11 estaciones pluviométricas, de las cuales 7 presentan datos faltantes. Para el completado se han organizado 3 lotes de estaciones distribuidos así: Lote 1 compuesto por las estaciones Barrendiola (B1T1), Legazpia (1037), Barrendiola (BARR), Aitzu (C0DB) y Legazpia – Barrendiola (1036O); Lote 2 con las estaciones Ibai-Eder (C0DC), Zumaia, Faro (1041A), Aizarnazabal (C0DD), Erdoizta (ERDO) y Zumaya – Carmelitas (1041), y Lote 3 formado por las estaciones Arriaran (1025N) y Matxinbenta (C0DE).

### 2.1.2.19 U.H. Urumea

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica, se han seleccionado 11 estaciones, de éstas presentan datos faltantes las estaciones 1020I, 1020 y 1021, que ya se han completado previamente en el análisis de las estaciones seleccionadas en la U.H. Bidasoa.

### 2.1.2.20 U.H. Zadorra

Para la modelación de los recursos hídricos de esta unidad hidrológica, se han seleccionado 15 estaciones, de las cuales solo la estación 9097O tiene datos faltantes. Para el completado de los datos de la estación, se ha procedido a su homogeneización, tomando como estaciones de apoyo las estaciones cercanas. De esta manera, se ha establecido el siguiente grupo de estaciones para el completado: 9088O, 9091O y 9084U.

Una vez realizado el completado de las series de precipitación que presentaban datos faltantes, se revisa su calidad, comparando los valores de la media y de la desviación típica de las series originales y de las completadas. Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Comparación entre la media y la desviación típica de las series completadas

U.H.	Indicativo	DATOS ORIGINALES (mm)		DATOS COMPLETADOS (mm)		RESIDUOS (mm)	
		Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Arakil	9269	3.33	7.67	3.34	7.65	0.01	0.02
Artibai	1053	3.78	7.71	3.88	8.40	0.10	0.69
Artibai	ARP1	3.17	4.45	3.42	6.85	0.25	2.40
Artibai	IBP6	4.78	6.02	5.10	9.84	0.32	3.81
Baia	9069	1.41	3.95	1.42	3.94	0.00	0.01
Bidasoa	F1W1	6.37	14.25	6.21	13.86	0.15	0.39
Deba	C0D3	3.79	8.36	3.81	8.45	0.01	0.09
Deba	C0D0	3.03	6.75	2.98	6.68	0.05	0.07
Deba	C0D2	3.45	7.93	3.45	7.93	0.00	0.00
Deba	C0D1	3.22	7.45	3.22	7.46	0.00	0.00

U.H.	Indicativo	DATOS ORIGINALES (mm)		DATOS COMPLETADOS (mm)		RESIDUOS (mm)		
		Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	
Deba	C078	3.92	9.93	3.92	9.92	0.00	0.00	
Ega	9176	2.05	5.49	2.05	5.48	0.00	0.01	
Ega	9176U	1.98	5.21	1.97	5.20	0.01	0.01	
Ega	9178H	2.35	6.55	2.34	6.46	0.01	0.09	
Ibaizabal	C0C2	3.07	7.58	3.08	7.59	0.01	0.01	
Ibaizabal	C0C1	2.91	6.99	2.91	6.98	0.01	0.01	
Ibaizabal	C051	2.38	5.65	2.37	5.65	0.00	0.00	
Ibaizabal	GOP2	3.12	7.33	3.12	7.33	0.00	0.00	
Ibaizabal	C067	2.95	7.12	2.94	7.11	0.01	0.01	
Ibaizabal	C0B4	3.08	7.13	3.08	7.13	0.00	0.00	
Ibaizabal	C0B1	3.34	7.61	3.34	7.61	0.00	0.00	
Ibaizabal	C0B2	3.11	7.14	3.11	7.14	0.00	0.00	
Ibaizabal	C0B3	3.41	7.68	3.39	7.65	0.03	0.03	
Ibaizabal	C0B6	3.67	8.29	3.67	8.28	0.00	0.01	
Ibaizabal	1077P	2.74	7.70	2.71	7.62	0.03	0.09	
Karrantza	1096U	3.50	8.00	3.48	8.02	0.02	0.02	
Karrantza	1095C	4.02	8.98	4.02	8.96	0.00	0.02	
Karrantza	1086	2.94	6.80	2.95	6.82	0.01	0.02	
Oria	TROY	3.15	7.81	3.11	7.77	0.04	0.04	
Oria	C0E7	3.13	7.23	3.11	7.21	0.01	0.02	
Oria	C0E5	3.11	6.90	3.11	6.90	0.00	0.00	
Oria	C0E1	3.12	7.29	3.12	7.29	0.00	0.00	
Oria	IBIU	3.37	7.89	3.43	7.84	0.06	0.05	
Oria	C4Z1	3.39	7.73	3.39	7.73	0.00	0.01	
Oria	C0E9	3.63	8.29	3.63	8.28	0.00	0.00	
Oria	C0EA	3.93	8.98	3.93	8.98	0.00	0.00	
Oria	C0EC	4.00	8.79	4.02	8.79	0.02	0.00	
Oria	C8Z1	3.81	8.60	3.82	8.57	0.00	0.03	
Oria	1033E	5.04	10.92	5.01	10.86	0.03	0.05	
Oria	1029C	4.55	10.03	4.49	9.79	0.06	0.23	
Oria	1032V	5.85	12.64	5.84	12.65	0.00	0.01	
Oria	LARE	4.42	9.30	4.41	9.27	0.01	0.02	
Urola	B1T1	3.81	8.08	3.79	7.99	0.03	0.09	
Urola	BARR	3.82	8.09	3.79	7.99	0.03	0.10	
Urola	C0DB	3.99	9.26	3.98	9.26	0.00	0.00	
Urola	C0DC	3.65	8.38	3.63	8.36	0.02	0.02	
Urola	C0DD	3.34	7.31	3.34	7.31	0.00	0.01	
Urola	C0DE	3.95	8.58	3.94	8.57	0.00	0.01	
Urola	ERDO	3.98	8.67	4.02	8.70	0.04	0.03	
Urumea	1020I	5.74	12.80	5.75	12.74	0.01	0.05	
Urumea	1020	5.46	11.70	5.49	11.76	0.03	0.06	
Urumea	1021	6.62	14.49	6.64	14.47	0.01	0.02	
Zadorra	9097O	2.20	5.62	2.20	5.59	0.00	0.03	
						<b>MAX</b>	0.32	3.81
						<b>PROMEDIO</b>	0.03	0.16

De la tabla se puede concluir que, los valores de media y desviación típica de las series originales y las series completadas arrojan resultados muy similares, con un valor máximo de diferencia de medias de 0.32 mm.

Analizando los valores de precipitación se observa que los valores más altos se localizan en las unidades hidrológicas del Urumea, Bidasoa y Oria, en las estaciones de Artikutza-Eskas (ARTI) con 2619 mm anuales, Endara (F1W1) con 2250 mm anuales y Leitza (1032V) con 2171 mm anuales. Así mismo, se concluye que las zonas con menor precipitación son las localizadas en las unidades hidrológicas del Baia, Inglares y Omecillo, en concreto en las zonas de las estaciones de Miranda de Ebro (9069) con 517 mm anuales, Zambrana (9103X) con 527 mm anuales y la estación Salinas De Añana (Monasterio) (9064A) con 638 mm anuales.

En el anejo II, se adjuntan los informes completos generados por Climatol para cada grupo de estaciones completadas. Así mismo, en el anejo IV se adjuntan los datos diarios de precipitación utilizados para el desarrollo del trabajo.

## 2.2 ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA - ETo

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo.<sup>2</sup>

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Es uno de los procesos hidrológicos más difíciles de medir, pero de gran importancia en los balances de recursos hídricos.

El concepto de ETo es para muchos autores similar al concepto de ETP, ya que igualmente depende exclusivamente de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios se les considera equivalentes<sup>3</sup>. Es por ello que para obtener las series de ETo en el estudio que nos ocupa y teniendo disponibles las series de ETP(mm) del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), con el que se realiza en España la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural, se ha optado por utilizarlas para la modelación en TETIS.

A continuación, se describe brevemente el procedimiento utilizado en el modelo SIMPA para estimar la evapotranspiración potencial.

Para la estimación de la ETP se aplica el método de Thornthwaite en cada celda del territorio y para cada uno de los meses del periodo, modificando posteriormente los mapas calculados mediante unos mapas mensuales de coeficientes correctores. Estos 12 mapas correctores se obtienen interpolando los coeficientes que resultan de dividir la evapotranspiración potencial media mensual calculada según Penman-Monteith y la calculada según Thornthwaite en las estaciones meteorológicas completas, donde existe suficiente información para aplicar ambos métodos.

La temperatura es una variable determinante para el cálculo de la evapotranspiración potencial, y al igual que sucede con la precipitación muestra una correlación significativa con la altitud. Dado que las estaciones meteorológicas que registran la temperatura también escasean en las zonas más montañosas, se introducen estaciones ficticias cuyas series de temperaturas mensuales se obtienen en función de los valores registrados en las estaciones vecinas y de las correlaciones existentes con la altitud. Seguidamente se procede a interpolar los mapas de temperaturas mensuales, que se utilizaron posteriormente para el cálculo de la evapotranspiración mensual según Thornthwaite.

Aplicando los mapas de coeficientes correctores mensuales antes mencionados se obtienen los mapas de evapotranspiraciones potenciales según Penman-Monteith, que a su vez son afectados por un coeficiente de vegetación variable en el espacio, aunque invariante en el tiempo. Este coeficiente tiene en cuenta el efecto de la vegetación. El mapa de coeficientes se obtiene a partir de los usos del suelo procedentes de CORINNE LAND COVER. Los valores asignados a cada uso del suelo se estimaron mediante balances hídricos en cuencas aforadas. De esta manera se modifica la evapotranspiración potencial calculada por la fórmula de Penman-Monteith para un cultivo de referencia y se tiene en cuenta que la evapotranspiración no sólo se controla

---

<sup>2</sup> ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 2006.

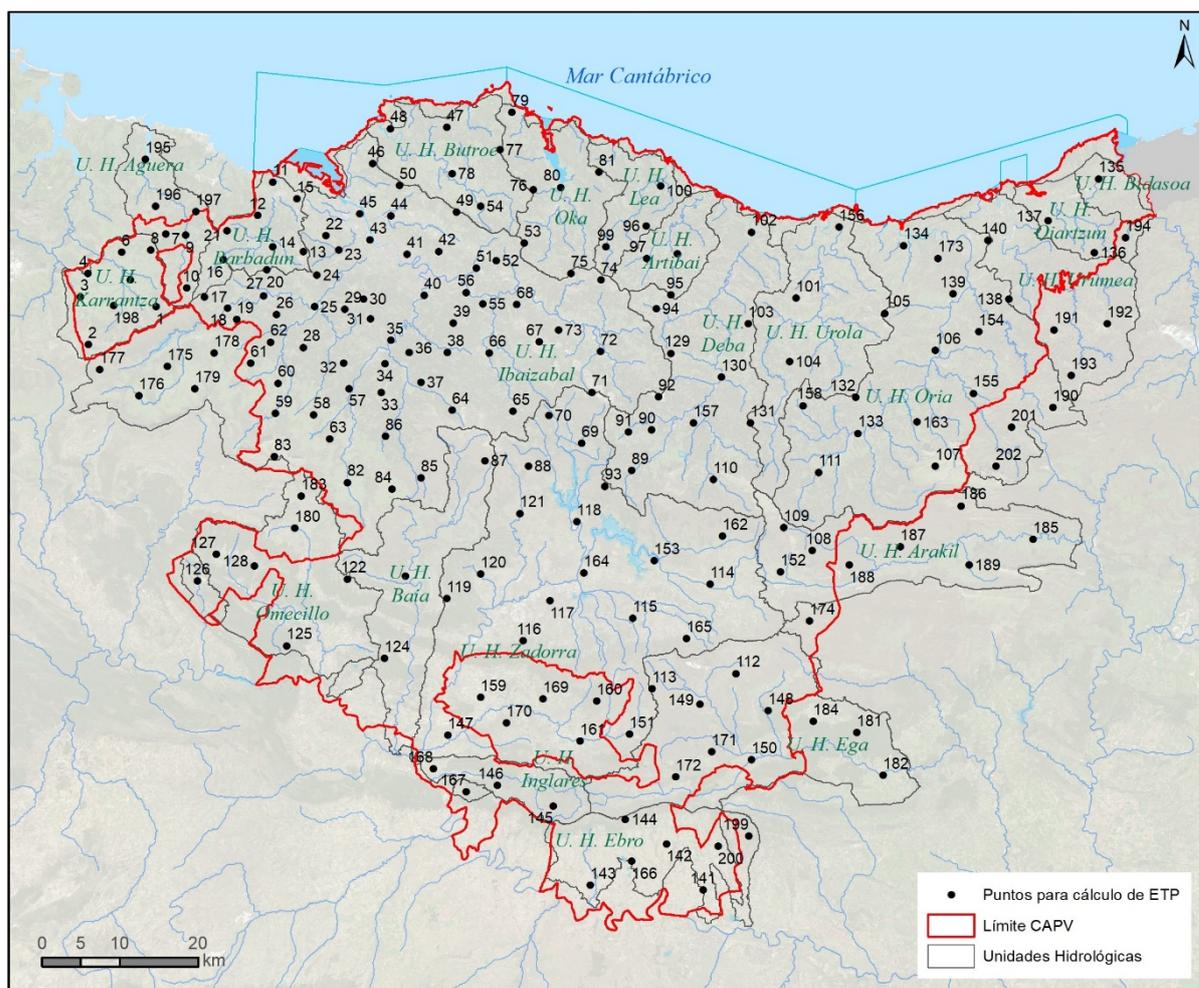
<sup>3</sup> McKenney, M. S. y Rosenberg, N. J. (1996): Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 64, págs. 81-110.

por factores meteorológicos, sino que viene regulada también por el tipo de vegetación existente. Como resultado final se obtienen los mapas mensuales de evapotranspiraciones potenciales<sup>4</sup>.

Las series de ETP del modelo SIMPA, están disponibles para el periodo de simulación 1940/41 a 2017/18. Para este estudio, se han extraído los datos del periodo de interés y para obtener los datos diarios se ha distribuido el dato total a lo largo de los días del mes.

Para la realización de este análisis se han distribuido 202 puntos a lo largo del territorio de la CAPV, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 4. - Localización de los puntos de cálculo de ETP



En la base de datos adjunta al documento (anexo IV), se encuentran disponibles los datos diarios de evapotranspiración para cada uno de los puntos de cálculo seleccionados.

<sup>4</sup> Teodoro Estrela Monreal, Francisco Cabezas Calvo-Rubio y Federico Estrada Lorenzo: La evaluación de los recursos hídricos en el Libro Blanco del Agua en España. Ingeniería del Agua. Vol.6 Num.2 (junio 1999), páginas 125-138

A continuación, se muestra una figura de la evapotranspiración promedio anual y una tabla que recoge este mismo dato por unidad hidrológica.

Figura 5. - Evapotranspiración promedio anual(mm)

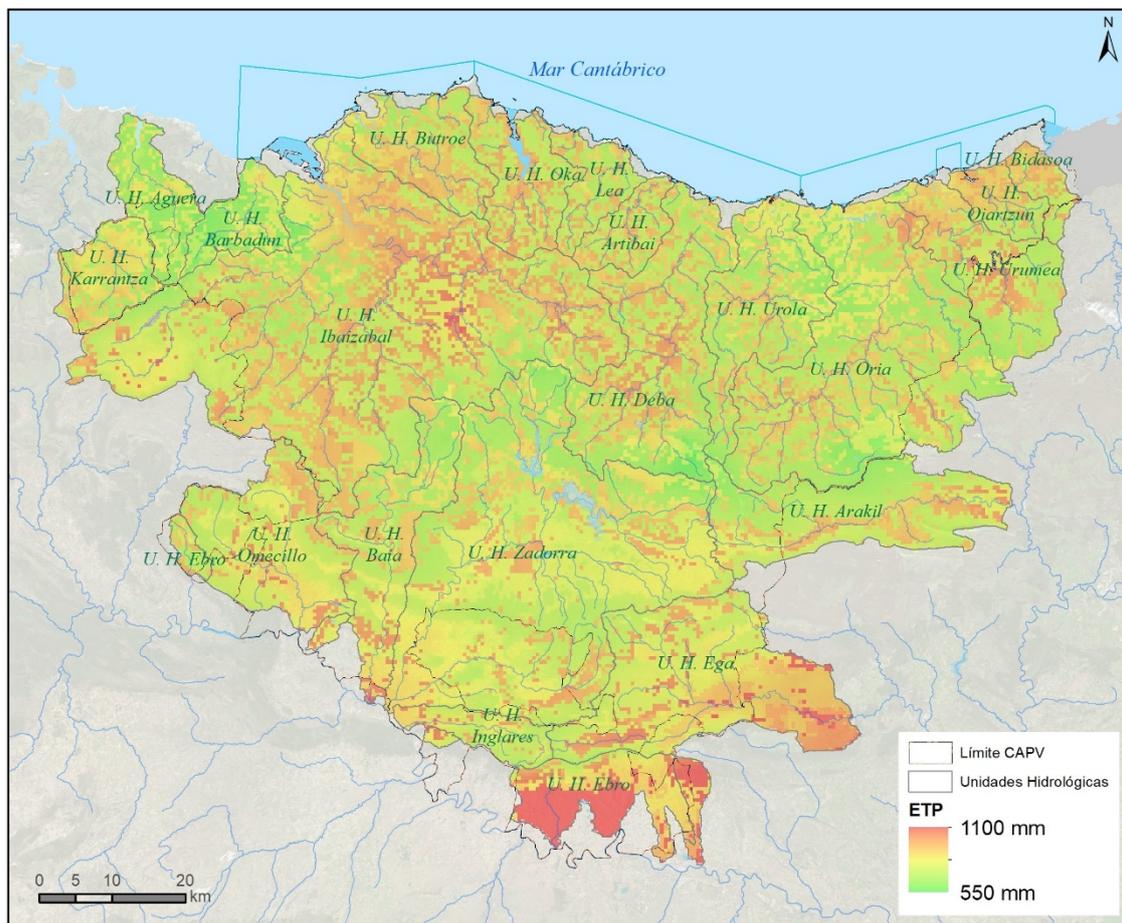


Tabla 3. Evapotranspiración promedio anual por unidad hidrológica. Periodo 1980-2016

U.H.	ETP promedio anual (mm)
Agüera	671
Arakil	721
Artibai	753
Baia	743
Barbadun	670
Bidasoa	776
Butroe	767
Deba	737
Ega	789
Ibaizabal	766
Inglares	743
Karrantza	747
Lea	740
Oiartzun	776
Oka	770
Omecillo	755
Oria	720
Urola	718
Urumea	743
Zadorra	735

Las unidades hidrológicas con datos de evapotranspiración más elevados son Ega, Bidasoa y Oiartzun, mientras que las que presentan valores menores son Agüera, Barbadun y Urola.

## 2.3 ANÁLISIS FORONÓMICO

### 2.3.1 Estaciones de aforo

Después de realizar una recopilación de las estaciones de aforo y sus datos disponibles, se han seleccionado las siguientes estaciones para su consideración en los modelos. A continuación, se muestran los datos principales de dichas estaciones, así como un mapa con la ubicación de las mismas.

En el anejo IV se adjuntan los datos de caudal diario utilizados para el desarrollo del trabajo.

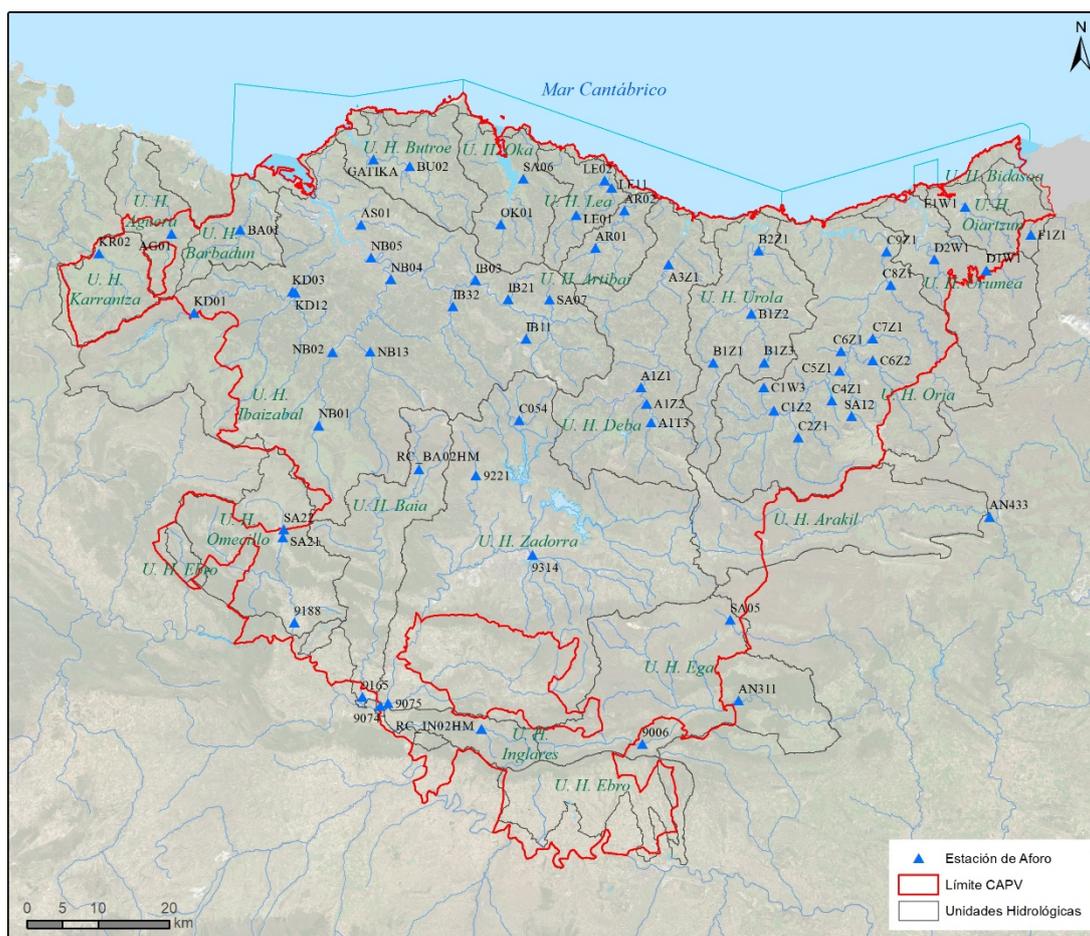
Tabla 4. Estaciones de aforo consideradas en los modelos

Código EA	Nombre estación	U. H.	Superficie (km <sup>2</sup> )	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de los datos
AG01	Pando	Agüera	46.12	479138	4791671	141	DFB
AN433	Arakil en Etxarren	Arakil	373	593850	4751700	432	GN
AR02	Berriatua	Artibai	94.52	542625	4794896	25	GV
AR01	Iruzubieta	Artibai	24.09	538580	4789618	110	GV
9165	Rio Bayas en Miranda de Ebro	Baia	318	505895	4726284	460	CHE
RC_BA02HM	Sarria	Baia	39	513848	4758370	646	GV
BA01	Arenao	Barbadun	85.02	488788	4792201	52	GV
F1W1	Endara (E. Aforos)	Bidasoa	6.19	599653	4791540	273	DFG
BU02	Mungia EDAR	Butroe	100.85	512568	4801183	21	GV
RC_BU03HM	Gatika	Butroe	143.32	507434	4802167	11	GV
A1Z1	San Prudentzio	Deba	121.78	544970	4769996	169	GV
A1T3	Arantzazu (Zuazola)	Deba	59.52	546413	4765049	218	DFG
A1Z2	Oñati	Deba	105.78	545771	4767676	200	GV
A3Z1	Altzola	Deba	464.25	548875	4787305	25	GV
9006	Rio Ega I en Marañón	Ega	87	545158	4719632	630	CHE
AN311	Ega en Arquijas	Ega	411.7	558619	4725745	524	GN
SA05	Manantial Zarpia	Ega		557469	4737171	880	URA
NB05	Abusu	Ibaizabal	996.65	507125	4788280	16	GV
IB03	Amorebieta	Ibaizabal	235.14	521800	4785098	65	GV
IB21	Oromino	Ibaizabal	22.38	526365	4782396	97	DFB
KD03	Sodupe en Cadagua	Ibaizabal	276.78	496099	4783514	56	GV
AS01	Sangroniz	Ibaizabal	50.89	505714	4792915	7	GV
IB11	Mañaria	Ibaizabal	22.56	528830	4776810	168	GV
IB32	Urkizu	Ibaizabal	129.48	518620	4781370	69	GV
KD01	Balmaseda	Ibaizabal	195.81	482310	4780490	174	GV
KD12	Sodupe en Herrerías	Ibaizabal	253.18	496487	4783298	56	GV
NB01	Saratxo	Ibaizabal	85.34	499783	4764591	224	GV
NB02	Gardea GV	Ibaizabal	185.44	501695	4774945	150	GV
NB04	Zaratamo	Ibaizabal	506.57	509916	4785232	55	GV
NB13	Zubiaur	Ibaizabal	181.6	507019	4775002	138	DFB

ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS DE LA CAPV

Código EA	Nombre estación	U. H.	Superficie (km²)	X UTM	Y UTM	Z(m)	Fuente de los datos
SA07	Arria-Patala	Ibaizabal		532153	4782352	248	URA
RC_IN02HM	Pagoeta (Peñacerrada)	Inglares	38	522591	4721744	707	GV
KR02	Karrantza	Karrantza	110.6	468980	4788860	125	DFB
LE02	Oleta	Lea	59.06	539900	4799184	14	GV
LE01	Aulestia	Lea	38.88	535907	4794274	74	DFB
LE11	Arbina	Lea	16.07	540832	4798154	20	DFB
E1W1	Oiartzun	Oiartzun	56.6	590450	4795472	11	GV
OK01	Muxika	Oka	31.56	525325	4793010	20	GV
SA06	Manantial Olalde	Oka	14.25	528478	4799451	3	URA
9188	Rio Omecillo en Bergüenda	Omecillo	350	496344	4736791	483	CHE
SA21	Estación Osma-1	Omecillo	76	494738	4748749	570	URA
SA22	Estación Osma-2	Omecillo	70	494881	4749934	580	URA
C1W3	Arriaran	Oria	2.77	562209	4769961	295	DFG
C1Z2	Estanda	Oria	55.02	563595	4766708	200	GV
C2Z1	Agauntza	Oria	69.64	567033	4762906	185	GV
C4Z1	Ibiur	Oria	5.96	571731	4768129	173.5	DFG
C5Z1	Alegia	Oria	333.34	572833	4772293	95	GV
SA10	Salubita	Oria	29.49	572911	4774852	196	URA
C6Z2	Araxes	Oria	92.61	577470	4773786	120	GV
C7Z1	Belauntza	Oria	33.34	577447	4776899	175	GV
C8Z1	Leitzaran	Oria	110.01	579978	4784422	94	GV
C9Z1	Lasarte	Oria	796.5	579431	4789118	17	GV
SA12	Manantial Zazpiburrieta	Oria	17	574520	4765917	320	URA
B1Z1	Aitzu	Urola	56.13	555086	4773482	313	GV
B1Z2	Ibaieder	Urola	62.73	560460	4780334	98	GV
B1Z3	Matxinbenta	Urola	13.69	562231	4773490	225.9	GV
B2Z1	Aizarnazabal	Urola	269.77	561501	4789237	25	GV
D1W1	Añarbe	Urumea	47.69	593408	4786507	183	GV
D2W1	Ereñozu	Urumea	218.42	586123	4788021	25	GV
9074	Rio Zadorra en Arce	Zadorra	1357	508458	4724993	455	CHE
9075	Rio Ayuda en Berantevilla	Zadorra	307	509497	4725369	453	CHE
9221	Rio Subialde o Zaya en Larrinoa	Zadorra	22	521862	4757556	585	CHE
9314	Rio Alegría en Vitoria	Zadorra	114	529732	4746293	508	CHE
C054	Otxandio	Zadorra	35.39	527888	4765352	556	GV

Figura 6. - Estaciones de Aforo



### 2.3.2 Restitución al régimen natural

De las estaciones seleccionadas, se han utilizado 38 para la calibración de los diferentes modelos, algunas de las cuales han tenido que ser restituidas a régimen natural. A continuación, se explica el planteamiento utilizado para la restitución de las estaciones de aforo y los datos necesarios para ello.

Para efectuar la restitución en las estaciones afectadas por embalses, captaciones de abastecimiento, captaciones de riego, entre otras cuestiones, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Caudales aforados (A).
- Caudales derivados o trasvasados por tomas situados aguas arriba de la estación (T).
- Caudal detraído por bombeo en acuíferos conectados (B).
- Caudal vertido por usos aguas arriba (V).
- Caudal trasvasado de otras cuencas (Q).
- Regulación de los embalses. (E).

Por lo tanto, los balances hidráulicos en cada punto se han realizado aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal restituído (N)} = A + T + B - V - Q \pm E$$

En cuanto al caudal almacenado o liberado por embalses, se plantea realizar el balance en los mismos, siguiendo la siguiente fórmula:

**Aportación natural = V. desaguado + V. evaporado ± V. embalsado**

A continuación, se muestra la relación de estaciones que se ha considerado necesario restituir en cada unidad hidrológica y el planteamiento general aplicado en cada caso.

**2.3.2.1 U.H. Deba**

En esta U.H. se han utilizado 3 estaciones de aforo para realizar la calibración, A3Z1 Altzola, A1Z2 Oñati y A1Z1 San Prudentzio. De estas únicamente las dos últimas han tenido que ser restituidos a régimen natural.

**A1Z1: San Prudentzio**

Esta estación mide la aportación en el río Deba, antes de la confluencia con el río Oñati. Para su restitución, a la aportación medida en la estación se le ha sumado el trasvase que se efectúa desde la cuenca del Bolibar hasta Urkulu y se le ha restado una parte de la demanda del municipio de Oñati, que vierte en la EDAR de Epele.

**A1Z2: Oñati**

Esta estación mide la aportación en el río Oñati. Para su restitución, a la aportación medida en la estación se le ha sumado parte la demanda del municipio de Oñati, que vierte en la EDAR de Epele.

**2.3.2.2 UH Urola**

De las 3 estaciones de aforo utilizadas para realizar la calibración de los modelos de esta cuenca, en concreto, de las estaciones B1Z1 Aitzu, B2Z1 Aizarnazabal y B1Z2 Ibaieder, solo esta última ha tenido que ser restituida a régimen natural.

**B1Z2: Ibaieder**

Esta estación mide la aportación en el río Urola, aguas abajo del embalse de Ibaieder. Para su restitución, se ha tenido en cuenta la regulación de este embalse. Los datos relativos al régimen de explotación del embalse han sido proporcionados por el propio Consorcio de Aguas de Gipuzkoa.

**2.3.2.3 UH Oria**

Para realizar la calibración de los modelos de esta U.H. se han utilizado 4 estaciones de aforo: C5Z1 Alegia, C1Z2 Estanda, C9Z1 Lasarte y C6Z1 Salubita, de las cuales únicamente la estación C1Z2 Estanda ha tenido que ser restituida a régimen natural. De las estaciones empleadas en la validación de los modelos se ha restituido la estación C2Z1 Agauntza.

**C1Z2: Estanda**

Esta estación mide la aportación en el río Estanda, aguas abajo del embalse de Arriaran. Para su restitución, se ha tenido en cuenta la regulación del citado embalse, a partir de los datos que se utilizaron en la restitución de la misma en el estudio de evaluación de recursos del año 2010, es decir, sumándole 75 l/s entre enero y abril, 50 l/s entre mayo y junio, 25 l/s entre julio y octubre y 50 l/s en los meses de noviembre y diciembre. Esta información fue proporcionada por el Consorcio de Aguas de Gipuzkoa.

**C2Z1: Agauntza**

Esta estación mide la aportación en el río Agauntza, aguas abajo del embalse de Lareo. Para su restitución se ha considerado el efecto del citado embalse, por lo que a la serie de caudales de la estación de aforo se le ha sumado un caudal constante de 50 l/s a partir del año hidrológico 1989-1990.

#### **2.3.2.4 U.H. Urumea**

Para realizar la calibración del modelo de esta U.H. se ha utilizado la estación D2W1 Ereñozu. Así mismo, el modelo ha sido validado teniendo en cuenta los datos de la estación D1W1 Añarbe. En este caso, ambas estaciones han tenido que ser restituidas a régimen natural.

##### **D2W1: Ereñozu**

La DFG a la serie de la estación D2Z1 le suma el caudal detráido por el canal, teniendo así la serie de esta estación D2W1. Sin embargo, en este caso es necesario tener en cuenta la regulación del embalse de Añarbe. Se aplica entonces, un factor corrector para que sea restituido el efecto del embalse del Añarbe. Este factor corrector se obtuvo de los datos registrados en el embalse aportados por la Mancomunidad de Aguas del Añarbe y han sido aplicados a partir de octubre de 2000.

##### **D1W1: Añarbe**

La DFG suma a los datos de la estación D1Z1 los datos detráidos por el canal, obteniendo así la serie restituida de la estación.

#### **2.3.2.5 UH Oiartzun**

La estación utilizada para la calibración del modelo de esta unidad ha sido la estación E1W1 Oiartzun.

##### **E1W1: Oiartzun**

La DFG suma a los datos de la estación E1Z1 los datos detráidos por el canal, obteniendo así la serie restituida de la estación.

#### **2.3.2.6 U.H. Ibaizabal**

Se han utilizado 11 estaciones de aforo para realizar la calibración de los modelos en esta unidad, que son: NB05 Abusu, SA07 Arria-Patala, IB03 Amorebieta, KD01 Balmaseda, NB02 Gardea, KD12 Herreras, IB21 Oromiño, AS01 Sangroniz, KD03 Sodupe, IB32 Urkizu y NB04 Zaratamo. En este caso, 6 de las citadas estaciones han tenido que ser restituidas a régimen natural: NB05 Abusu, SA07 Arria-Patala, NB02 Gardea, IB32 Urkizu, IB21 Oromiño, y KD01 Balmaseda. Así mismo, dos de las estaciones utilizadas en la validación de los modelos, han tenido que ser restituidas a régimen natural, que son las estaciones NB13 Zubiaur y IB11 Mañaria.

##### **NB05: Abusu**

Se trata de una estación que está muy influenciada por los trasvases que se realizan desde el sistema Zadorra, así como por la regulación del embalse de Undurraga. Para su restitución es necesario tener en cuenta los volúmenes trasvasados desde el sistema formado por los embalses de Ullibarri y Urrunaga, hasta el embalse de Undurraga y el volumen que se conduce desde este último embalse a la ETAP de Venta Alta para el abastecimiento de Gran Bilbao. La información correspondiente ha sido facilitada por el Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia.

##### **SA07: Arria-Patala**

Esta estación mide la aportación en la masa de agua Akelkorta, aguas abajo de la principal toma de abastecimiento de Durango. Para su restitución, a la serie medida se le ha sumado el caudal detráido en dicha toma, cuya información ha sido proporcionada por el propio gestor, el Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia.

**IB21: Oromiño**

Esta estación mide la aportación en el río Oromiño. Para su restitución, a la serie medida se le ha sumado el caudal detráido en las tomas Gallandas para abastecer Durango.

**IB32: Urkizu**

Al igual que la estación de Abusu, se trata de una estación que está muy influenciada por los trasvases que se realizan desde el sistema Zadorra, así como por la regulación del embalse de Undurraga. Para su restitución ha sido necesario tener en cuenta los volúmenes trasvasados desde el sistema formado por los embalses de Ullibarri y Urrunaga, hasta el embalse de Undurraga y el volumen que se conduce desde este último embalse a la ETAP de Venta Alta para el abastecimiento de Gran Bilbao. La información correspondiente ha sido facilitada por el Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia.

**KD01: Balmaseda**

Se trata de una estación que está bajo la influencia del trasvase que se realiza desde la cuenca del río Cerneja al embalse de Ordunte, así como por la regulación del propio embalse. Para su restitución ha sido necesario tener en cuenta los volúmenes trasvasados y la explotación del citado embalse. El Ayuntamiento de Bilbao facilitó los datos diarios de la explotación del embalse de Ordunte.

**NB02: Gardea GV**

Esta estación ha sido restituida teniendo en cuenta las demandas que se abastecen desde el embalse de Maroño.

**NB13: Zubiaur**

Esta estación ha sido restituida añadiendo a los datos de aforo, los caudales derivados aguas arriba de la estación por el canal para usos industriales.

**IB11: Mañaria**

Esta estación mide la aportación en el río Mañaria, aguas abajo de los sondeos de Mañaria. Ha sido restituida añadiendo a los datos de aforo los caudales extraídos en los citados sondeos. Se ha considerado un caudal aproximado de 24 l/s.

**2.3.2.7 U.H. Ega**

En esta unidad hidrológica se ha utilizado la estación AN311 para realizar la calibración del modelo. Sus datos han tenido que ser restituidos a régimen natural, puesto que la estación se encuentra bajo la influencia de las demandas agrarias y demandas de pequeñas zonas urbanas. Para validar este modelo, se han utilizado los datos de la estación de Ega I en Marañon. Esta última estación también ha tenido que ser restituida a régimen natural.

**AN311: Arquijas:**

Esta estación ha sido restituida añadiendo a los datos de aforo el volumen de agua para regadío y para abastecimiento urbano de pequeños núcleos existentes en la zona. La información correspondiente a dichas demandas ha sido extraída del estudio de demandas realizado en el segundo ciclo de planificación.

### **9006: Río Ega I en Marañón**

Esta estación ha sido restituida sumándole el caudal detrído para las demandas agrarias de Bernedo y Lagran. Toda la información utilizada ha sido extraída del estudio de demandas realizado en el segundo ciclo de planificación.

#### **2.3.2.8 U. H. Zadorra**

Para la calibración de los modelos de esta unidad se han utilizado las estaciones de aforo 9074 - Río Zadorra en Arce y 9075 - Río Ayuda en Berantevilla. Ambas estaciones han tenido que ser restituidas a régimen natural. Las estaciones utilizadas para la validación de estos modelos (Río Subialde o Zaya en Larrinoa, Río Alegría en Vitoria, Otxandio y Etura) también han tenido que ser restituidas a régimen natural.

### **9074: Río Zadorra en Arce**

Esta estación está influenciada por los trasvases que se realizan del sistema Zadorra a la cuenca del Ibaizabal, así como por la regulación de los embalses de Urrunaga y Ullibarri. Asimismo, en la cuenca del río Zadorra existen numerosas demandas agrarias y captaciones destinadas al abastecimiento de Vitoria que tienen su efecto en los caudales circulantes de la cuenca. Para su restitución, se ha considerado el régimen de explotación de los embalses del sistema Zadorra, así como las demandas existentes en la cuenca. La información correspondiente a los volúmenes trasvasados ha sido proporcionada por el Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia. En cuanto a los datos relativos a las demandas se ha utilizado la información que ha sido extraída del estudio de demandas realizado en el segundo ciclo de planificación.

### **9075: Río Ayuda en Berantevilla**

Para restituir esta estación, a la serie medida se le ha sumado del caudal detrído para las demandas agrarias de la cuenca del río Ayuda. Para ello se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio de demandas que se realizó en el segundo ciclo de planificación.

### **9221: Río Subialde o Zaya en Larrinoa**

Para restituir la estación de Río Subialde o Zaya en Larrinoa, a la serie medida se le ha sumado el caudal detrído en las tomas del Gorbea. Se ha tenido en cuenta un caudal constante de 32 l/s.

### **9314: Río Alegría en Vitoria**

Esta estación cuenta con una sección que ha sufrido un ensanchamiento, por lo que los datos medidos en la misma no son del todo fiables. Además, suele tener problemas de medición debido a la presencia de la vegetación.

Aguas arriba de esta estación se localizan las demandas agrarias de la cuenca. La información relativa a dichas demandas ha sido extraída del estudio de demandas realizado en el segundo ciclo de planificación. Por otro lado, existe un trasvase desde esta cuenca hasta el embalse de Ullibarri, desde el cual se abastece Vitoria. Esta última captación se realiza a través de una pequeña presa. Los datos relativos al caudal trasvasado por el canal de Alegría han sido facilitados por AMVISA.

#### **C054: Otxandio**

Para restituir esta estación, a la serie medida se le ha sumado el caudal detraído para la satisfacción de la demanda urbana de Otxandio. Para ello, se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio que se realizó sobre las demandas de agua en la CAPV en el segundo ciclo de planificación.

#### **RC ZA11HCM: Etura**

Para restituir esta estación, a la serie medida se le ha sumado, por un lado, el caudal detraído para las demandas agrarias de la cuenca, proveniente de los datos del estudio de demandas que se hizo en el segundo ciclo de planificación. Por otro lado, se le ha restado el caudal vertido de Salvatierra, al tratarse de un recurso proveniente de otra cuenca. Para este vertido se ha tenido en cuenta un caudal constante de 30 l/s.

#### ***2.3.2.9 U. H. Baia***

Para la calibración de esta U.H. se ha utilizado la estación de aforo 9165 - Río Bayas en Miranda de Ebro y para la validación la estación RC\_BA02HM – Sarria. Ambas estaciones han sido restituidas a régimen natural.

#### **9165: Río Bayas en Miranda de Ebro**

Para restituir la estación de Miranda de Ebro, a la serie medida se le ha sumado el caudal detraído para las demandas agrarias existentes aguas arriba de la estación. Para ello, se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio de demandas realizado para la CAPV, en el segundo ciclo de planificación.

#### **RC BA02HM: Sarria**

Para restituir esta estación, a la serie medida se le ha sumado el caudal detraído para la satisfacción de las demandas urbanas de la zona de Zuia. Para ello, se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio de demandas que se realizó en el segundo ciclo de planificación.

#### ***2.3.2.10 U. H. Omecillo***

Para la calibración del modelo de esta unidad se ha utilizado la estación de aforo Río Omecillo en Bergüenda – 9188 y para la validación se ha utilizado la estación de SA22-Osma2 y SA21-Osma1.

#### **9188: Río Omecillo en Bergüenda**

Para restituir esta estación, se ha considerado el caudal detraído para las demandas agrarias de Valdegovia y Añana. Para ello, se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio de demandas del segundo ciclo de planificación.

#### **SA22 (Osma-2) y SA21 (Osma-1)**

Se trata de dos estaciones que están en régimen natural, pero que tienen una particularidad. Están situadas aguas arriba (SA22) y aguas abajo (SA21) respectivamente del manantial Osma que surge en la localidad homónima, muy próximo al cauce del río.

Gran parte del año el río suele permanecer seco aguas arriba de la incorporación de la aportación del manantial (SA22). Sin embargo, aguas abajo, el río lleva el caudal aportado por el manantial. Estas estaciones representan la particularidad del río Húmedo en esa zona.

Se ha realizado el estudio en base a los datos aforados en ambas estaciones, con el objetivo de conocer el régimen de caudal incorporado en el manantial.

### 2.3.2.11 U.H. Arakil

En esta U.H. se ha utilizado la estación Arakil en Etxarren – AN433 para la calibración del modelo, la estación está ubicada en la Comunidad Foral de Navarra.

#### **AN433: Arakil en Etxarren**

Esta estación mide la aportación en el río Arakil aguas arriba de la confluencia con el río Larraun. Para su restitución al caudal medido en la estación se le suma el volumen de agua utilizado en los riegos de la zona alta de la cuenca. Para ello, se han tenido en cuenta las demandas consideradas en el estudio de demandas del segundo ciclo de planificación.

### 2.3.2.12 U. H. Bidasoa

Para la calibración del modelo de esta U.H. se ha utilizado la estación de aforo F1W1 (Endara). Esta estación ya se encuentra restituida por la DFG, teniendo en cuenta, por un lado, los caudales que mide la estación en la cola del embalse de Endara y, por otro lado, los caudales medidos al comienzo del canal de Domiko.

A continuación, se muestra una tabla con las aportaciones medias en régimen alterado (RA) y las aportaciones restituidas al régimen natural (RN) de cada una de las estaciones listadas anteriormente, para cada una de las U.H.

Tabla 5. Estaciones de aforo restituidas a régimen natural

U. H.	Código	Estaciones	Aportación RA (hm <sup>3</sup> )	Aportación RN (hm <sup>3</sup> )
DEBA	A1Z1	SAN PRUDENTZIO	79,10	81,43
DEBA	A1Z2	OÑATI	89,97	90,09
UROLA	B1Z2	IBAIEDER	43,67	50,39
ORIA	C1Z2	ESTANDA	31,95	33,52
ORIA	C2Z1	AGAUNTZA	53,65	55,12
URUMEA	D1W1	AÑARBE	47,62	275,87
URUMEA	D2W1	EREÑOZU	281,64	309,07
OIARTZUN	E1W1	OIARTZUN	69,79	74,37
IBAIZABAL	IB11	MAÑARIA	35,93	36,70
IBAIZABAL	IB21	OROMIÑO	16,22	16,65
IBAIZABAL	IB32	URKIZU	262,78	49,85
IBAIZABAL	KD01	BALMASEDA	147,73	176,67
IBAIZABAL	NB02	GARDEA GV	80,46	82,81
IBAIZABAL	NB05	ABUSU	1256,93	878,30
IBAIZABAL	NB13	ZUBIAUR	111,90	111,94
IBAIZABAL	SA07	ARRIA - PATALA	4,67	8,23
EGA	9006	EGA I EN MARAÑON	17,55	20,04
ZADORRA	9074	ZADORRA EN ARCE	362,86	910,73
ZADORRA	9075	AYUDA EN BERANTEVILLA	94,60	100,03
ZADORRA	9221	RIO SUBIALDE O ZAYA EN LARRINOA	20,51	21,53
ZADORRA	C054	OTXANDIO	41,56	41,67

U. H.	Código	Estaciones	Aportación RA (hm <sup>3</sup> )	Aportación RN (hm <sup>3</sup> )
ZADORRA	9314	RIO ALEGRIA EN VITORIA	56,20	89,23
ZADORRA	RC_ZA11HMC	ETURA	86,01	86,47
BAIA	RC_BA02HM	SARRIA	46,95	47,38
BAIA	9165	BAYAS EN MIRANDA DE EBRO	176,81	178,15
OMECILLO	9188	OMECIOL EN BERGUENDA	91,51	94,11
EGA	AN311	EGA EN ARQUIJAS	114,32	120,01
ARAKIL	AN433	ARAKIL EN ETXARREN	310,61	310,89
BIDASOA	F1W1	ENDARA	6,76	12,22

## 2.4 MAPAS DE PARÁMETROS

### 2.4.1 Parámetros Geomorfológicos

Para la puesta en marcha del modelo de simulación, además de los datos iniciales de precipitación, evapotranspiración y aforo restituído al régimen natural, es necesaria la caracterización geomorfológica de la cuenca de estudio. Se trata básicamente de los parámetros del suelo, de la cubierta vegetal y de la traslación fluvial geomorfológica.

Del estudio “Actualización de la evaluación de los recursos hídricos de la CAPV 2010”, se han recopilado los mapas de la distribución espacial de los parámetros  $H_u$  (capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo),  $K_s$  (capacidad de infiltración del suelo) y  $K_p$  (capacidad de percolación del estrato rocoso), así como el mapa de cobertura vegetal.

Para la elaboración de estos mapas, se realizó una estimación distribuida de las condiciones hidráulicas del suelo en función de una serie de informaciones puntuales (datos de los perfiles edáficos), extrapolados espacialmente en función de otras variables ambientales. Se trataba de establecer una relación funcional simple, tipo regresión, entre las variables principales, directamente relacionadas con el comportamiento hidrológico del terreno (conductividad hidráulica del suelo y del sustrato, y capacidad de almacenamiento hídrico del suelo), y las variables ambientales, que son todas aquellas variables que explican alguna parte de la variabilidad espacial de alguna de las variables principales.

La regresión lineal empleada tiene la formulación clásica:

$$y_i = \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$$

donde:

$y_i$  : variable principal

$i$  = celda de evaluación

$x_{ij}$  : variable independiente de tipo ambiental  $j$

$\beta_j$  : coeficientes de la regresión

La estimación de los coeficientes de regresión se realizó mediante un ajuste por mínimos cuadrados ponderados. La ponderación corresponde al área de cada unidad de muestreo. Por tanto, la función objetivo a minimizar fue:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i \left( y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)$$

donde:

$y_i$ : variable principal

$x_{ij}$ : valor de la variable ambiental j en la unidad de muestreo i.

$\omega_i$ : peso calculado como el área de cada unidad de muestreo.

$\beta_i$ : coeficientes de regresión a estimar

Finalmente, el último paso fue la estimación de los valores de las variables principales en cada celda mediante la aplicación de los factores obtenidos en la regresión, pero forzando a que el valor medio en cada unidad cartográfica sea el valor modal de la variable principal. Es decir, para cada variable principal y unidad cartográfica, su valor estimado en celda viene dado por la siguiente expresión:

$$y_i^* = y_i + [E(y_i) - y^c]$$

donde:

$y_i^*$ : valor de la variable principal estimado en cada celda de cada unidad cartográfica.

$y_i$ : valor de la variable principal estimado mediante el modelo de variabilidad sin corrección, para cada celda de cada unidad cartográfica.

$E(y_i)$ : valor medio para cada unidad cartográfica de la variable principal estimada mediante el modelo de variabilidad sin corrección.

$y^c$ : valor modal original de la variable principal, asignado a cada unidad cartográfica.

El tamaño de celda utilizado para todos los cálculos fue el seleccionado para del modelo de simulación: 500 por 500 metros.

Un detalle a señalar era la variabilidad en las fuentes de información existentes en el ámbito del estudio, lo que condujo a que, en algunos casos, se mezclaran criterios de clasificación, taxonomías y escalas distintas incluso para el mismo concepto. Sin embargo, fue la homogeneidad de criterios entre Gipuzkoa y Bizkaia, lo que permitió considerarlas como una única fuente de información en lo que a las variables ambientales se refiere.

Por otro lado, la versión 9.0.2 de TETIS que se ha utilizado en este estudio requiere la creación de tres nuevos mapas de parámetros, que son:

- Kss o conductividad hidráulica para el interflujo
- Ksa o conductividad hidráulica saturada del acuífero
- Kps o capacidad de pérdidas del acuífero

La falta de información adicional y la manera de integración de estos nuevos mapas de parámetros en el modelo ha hecho que, tal y como se describe en su manual de uso, hayan adoptado los mismos mapas para Kss y Ks y Ksa y Kp, respectivamente. En el caso de Kps, se

estima que su valor ha de ser un décimo de la tasa de percolación  $K_p$ .

A continuación, se puede ver las figuras representativas de los mapas utilizados en el modelo.

Figura 7. - Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (mm)

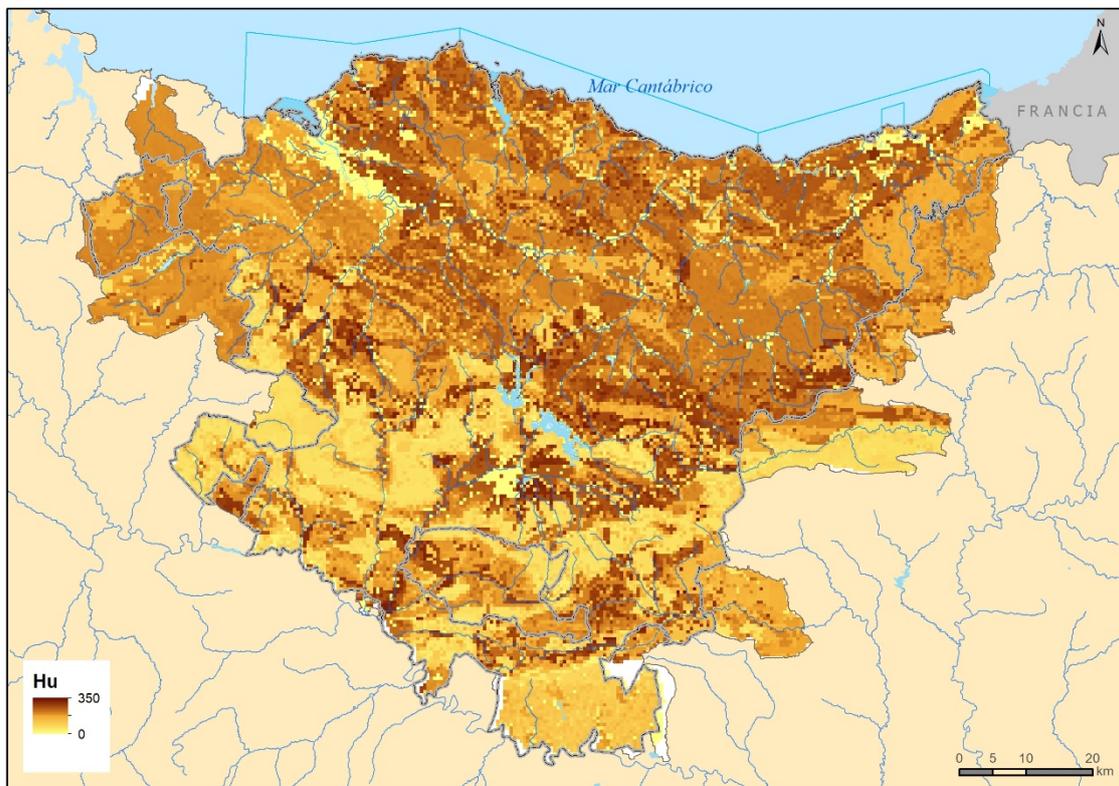


Figura 8. - Capacidad de percolación del estrato rocoso ( $K_p$ ) (cm/h)



Figura 9. - Capacidad de infiltración del suelo (cm/h)

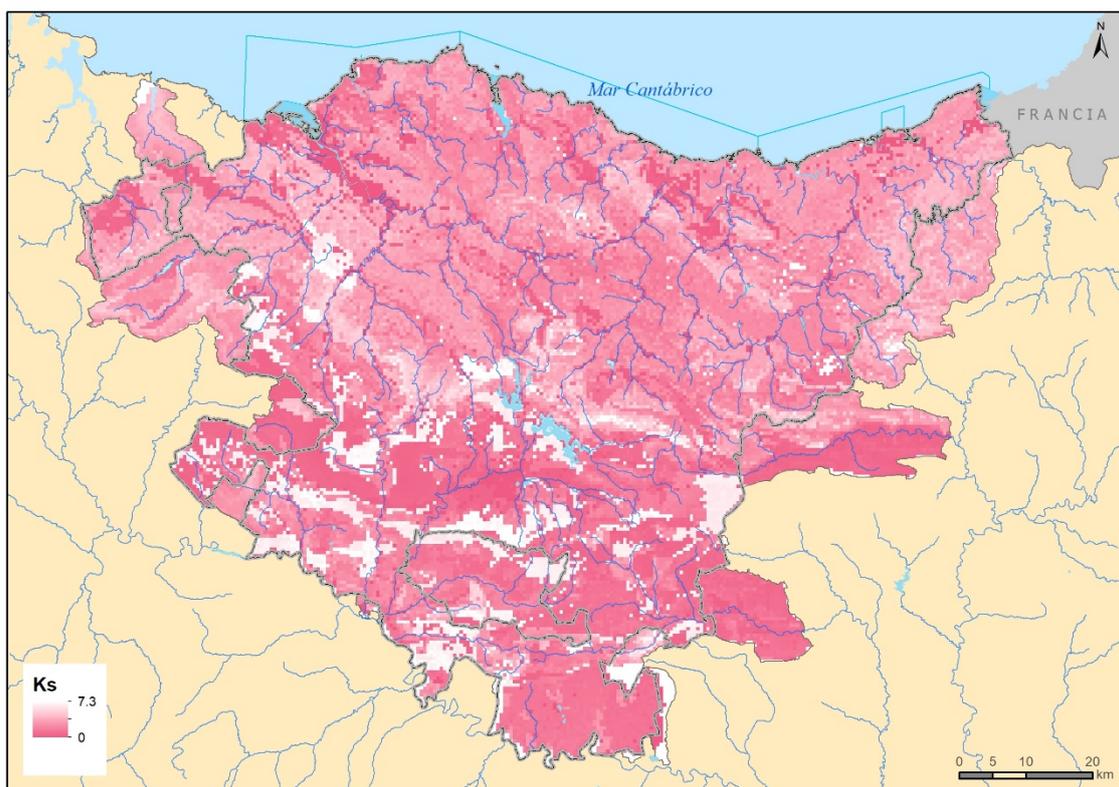
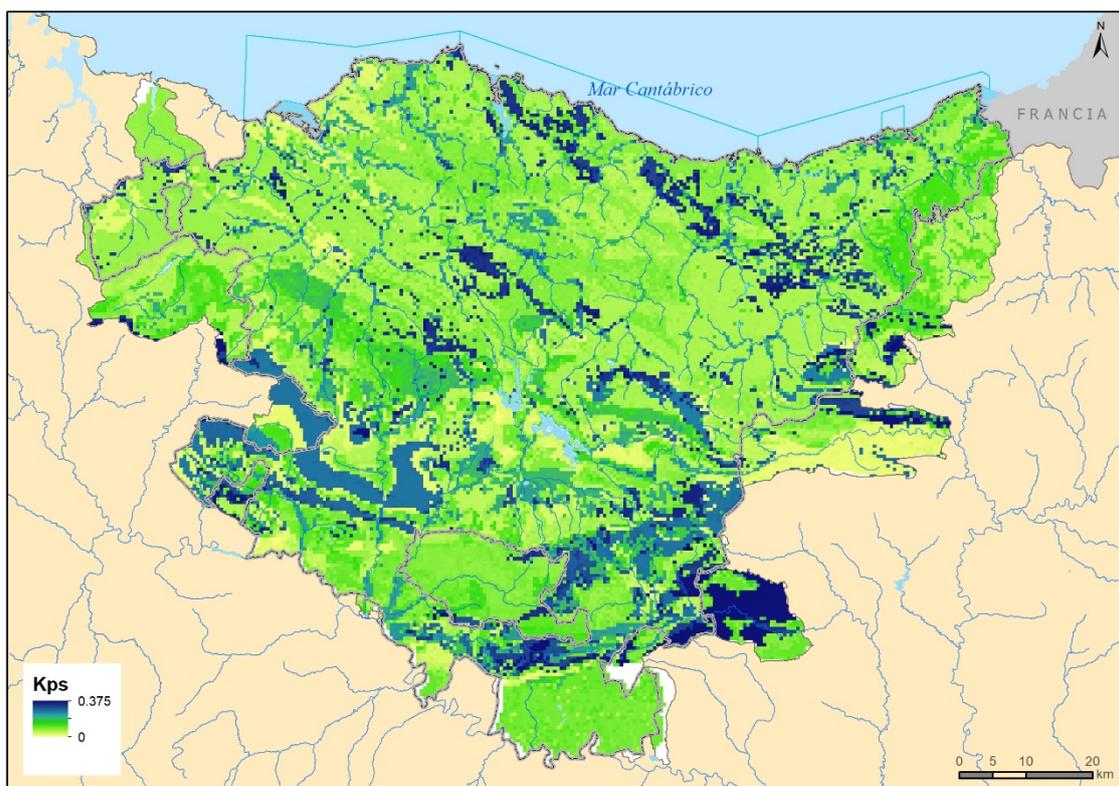


Figura 10. - Capacidad de pérdidas del acuífero.



## 2.4.2 Parámetros derivados de la topografía

La distribución espacial de los parámetros derivados de la topografía, se ha recopilado del estudio “Actualización de la evaluación de los recursos hídricos de la CAPV 2010”.

A partir del modelo digital de elevación del terreno (MDE), se obtuvieron los siguientes mapas:

- Mapa con las direcciones de drenaje, para establecer las conectividades entre las diferentes celdas.
- Área de drenaje acumulada en cada celda. Se requiere para la estimación de la velocidad y el área del flujo.
- Mapa de pendientes, para determinar la velocidad y el área del flujo.
- Mapa de velocidades, necesario para estimar la velocidad superficial de la escorrentía.
- Altura sobre el nivel del mar, es necesaria para la interpolación de la precipitación y la temperatura.

A continuación, se muestran el MDE, la pendiente de la ladera y la red de drenaje obtenida.

Figura 11. - Modelo digital de elevaciones (msnm)

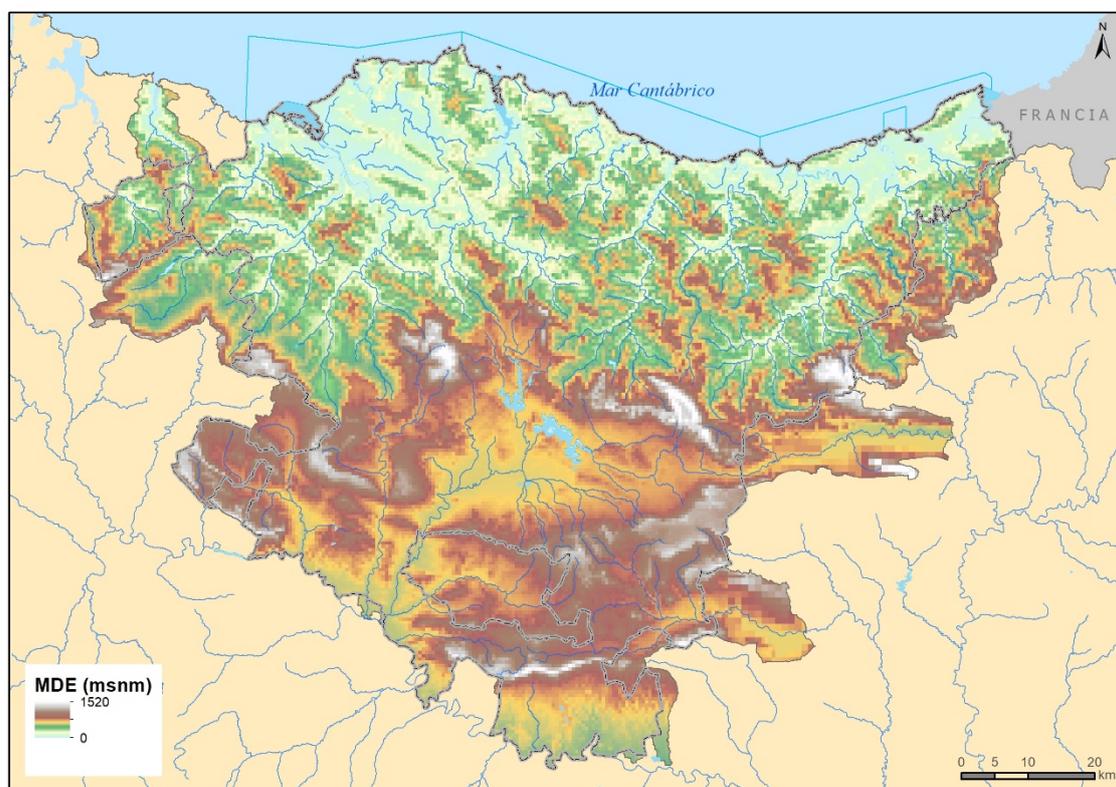


Figura 12. - Pendiente en porcentaje

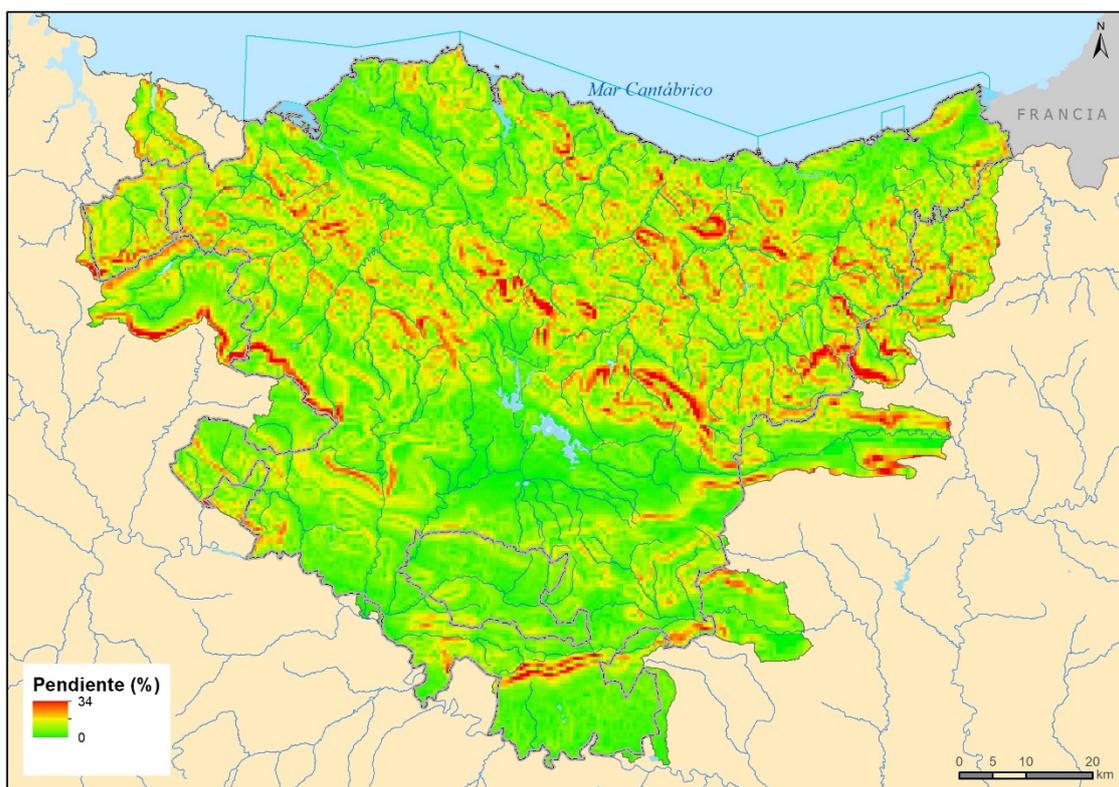
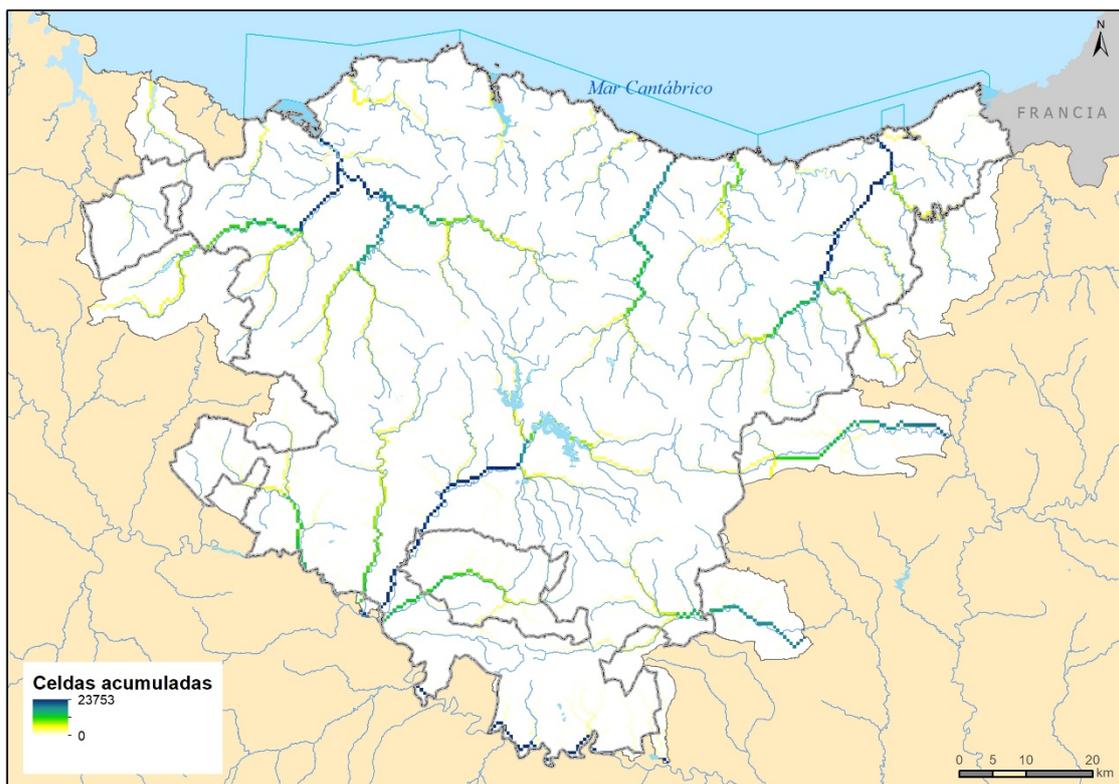


Figura 13. - Red de drenaje



## 3 CONSTRUCCIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Los modelos generados en el marco de este trabajo se han creado utilizando versión 9.0.2 de TETIS.

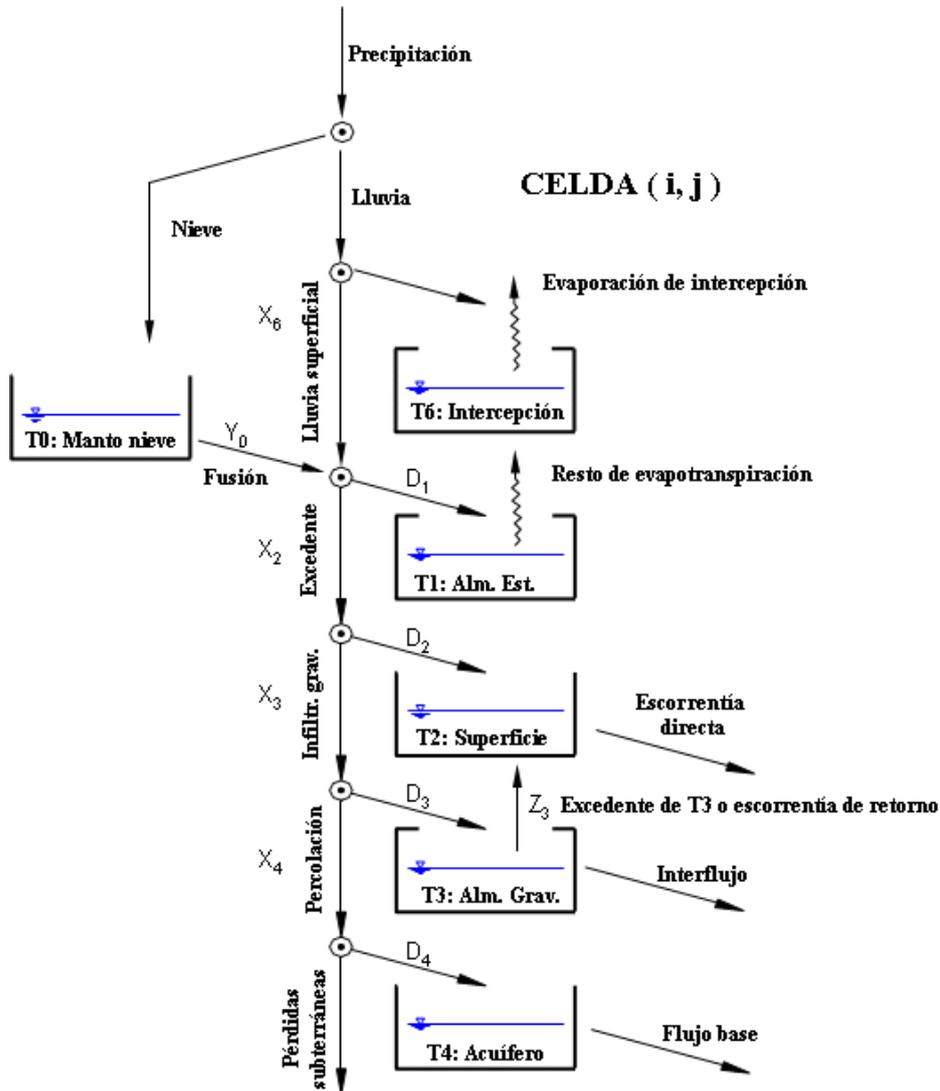
El modelo TETIS ha sido desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y del Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia para realizar la simulación hidrológica en cuencas naturales. El modelo permite obtener la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de la lluvia o de la nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual.

Este modelo permite la simulación de los siguientes procesos hidrológicos:

- **Intercepción:** Porción de la precipitación retenida por objetos superficiales tales como las cubiertas vegetales y los tejados.
- **Retención:** Denominada también almacenamiento en depresión. Es el agua retenida que no es capaz de salir como escorrentía superficial, por lo que debe evaporarse o infiltrarse en el suelo. En los casos en los que este proceso sea significativo, puede modificar la respuesta de la cuenca.
- **Infiltración:** Proceso de entrada de agua al suelo a través de la superficie del terreno.
- **Evapotranspiración:** Proceso por el cual el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso a través de la transferencia de energía calorífica.
- **Fusión de nieve:** Proceso mediante el cual se obtiene la cantidad de agua líquida producida por el derretimiento de la nieve acumulada en superficie.
- **Percolación:** Movimiento de agua infiltrada a través del suelo.
- **Recarga del acuífero:** Agua percolada a través del suelo que alcanza el acuífero.
- **Escorrentía superficial:** Parte de la lluvia que no es interceptada, detenida, evaporada o infiltrada y que fluye sobre las laderas.
- **Flujo subsuperficial:** Agua previamente infiltrada que circula a través del suelo.
- **Flujo base:** Agua infiltrada que circula a través del acuífero.

En TETIS, la producción de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en cada celda, asumiendo que el agua se distribuye en seis niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí (más un séptimo de cauces cuando lo haya en la celda), como puede observarse en la siguiente figura:

Figura 14. - Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS

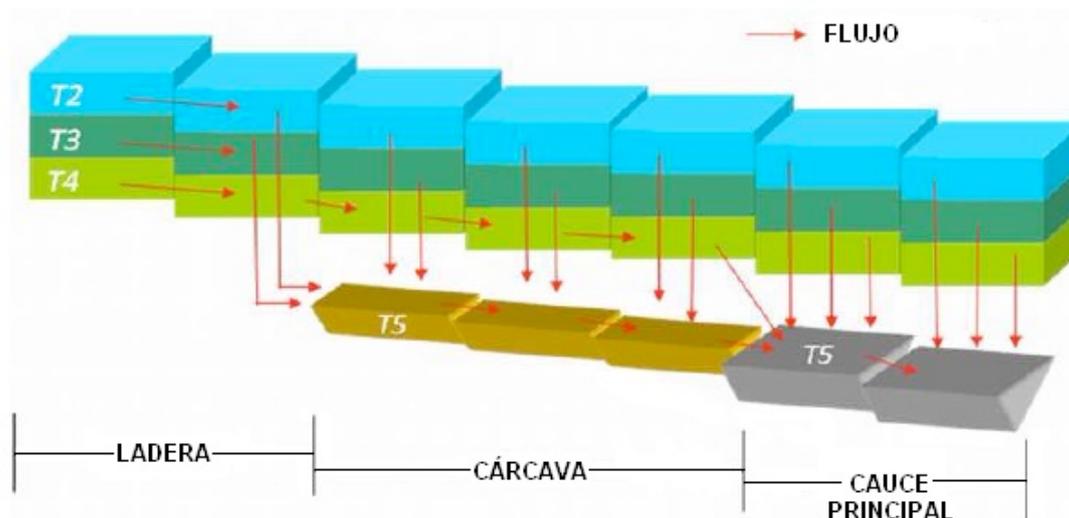


Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica. Tetis. V. 8.1.

El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma.

La conceptualización del modelo TETIS puede presentarse también como una malla interconectada en tres dimensiones, los tres tanques inferiores drenan hacia el correspondiente tanque aguas abajo, siguiendo las direcciones del flujo propuestas por el modelo digital del terreno, hasta alcanzar la red de drenaje constituida por cárcavas y cauces.

Figura 15. - Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS



Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica. Tetis. V. 8.1.

Para las celdas que no pertenecen a un área de karst, el sistema presenta tres elementos diferenciados, definidos por las áreas umbrales para que las diferentes componentes de la escorrentía salgan a la superficie. Además, estas áreas coinciden con la presencia de una incisión permanente en el terreno en donde se concentran los flujos, ya sea en cárcavas o en cauces.

Por su parte, en las celdas que pertenecen a un área de karst la transferencia de la escorrentía directa se hace también de acuerdo con el concepto de áreas umbrales, mientras que la transferencia del flujo a la red de drenaje no ocurre de acuerdo con este concepto. En este caso el interflujo (que representa el drenaje más rápido del acuífero kárstico) y el flujo base (que actúa como el drenaje más lento) salen a la superficie, y por lo tanto a la red de drenaje, en un punto de manantial.

Un acuífero kárstico puede exceder los límites superficiales de una cuenca hidrográfica y por lo tanto el punto de manantial asociado puede estar drenando un área superior a la que calcula el modelo TETIS. Este incremento de flujo kárstico será proporcional al área del acuífero que queda excluida de la cuenca hidrográfica superficial y se expresará como porcentaje de incremento respecto al flujo kárstico calculado por el modelo TETIS. En el caso en que el área del acuífero kárstico que drena a cierto manantial sea inferior a la calculada por el modelo TETIS, el porcentaje será de decremento (negativo).

Una descripción detallada del funcionamiento de las relaciones entre los almacenamientos y la red de drenaje puede encontrarse en el Anejo III. Modelo TETIS. Manual de usuario y modelo conceptual.

### 3.2 SÍNTESIS DE LOS DATOS NECESARIOS PARA EL MODELO

En primer lugar, para ejecutar el modelo se requiere la información básica que proviene del modelo digital de elevación del terreno (MDE).

La información del episodio de lluvia también es considerada como básica y debe incluir las series temporales de lluvia, volúmenes y niveles de embalses, caudales de salida en los embalses, caudales en las estaciones de aforo, evapotranspiración, altura equivalente de agua, temperatura y aportes o retenciones de caudal.

Finalmente, toda la información relacionada con los embalses y sus curvas características es también necesaria para poder realizar los cálculos, en caso de querer simular su influencia en la dinámica natural de la cuenca.

Los parámetros del modelo tienen que ser estimados previamente y, por lo tanto, pueden tratarse como información disponible. Básicamente se trata de los parámetros del suelo, de la cubierta vegetal, de los parámetros geomorfológicos con validez regional y de los parámetros de la fusión de nieve.

El modelo TETIS emplea además nueve parámetros geomorfológicos según las siguientes relaciones geomorfológicas de tipo potencial entre:

- Relación entre el caudal a sección llena  $Q_b$  con el área acumulada de la cuenca  $\Lambda$ . Siendo  $\kappa$  el coeficiente y  $\phi$  el exponente según la expresión:

$$Q_b = \kappa \cdot \Lambda^\phi$$

- Relación entre el ancho de la sección transversal a sección llena  $w_b$  y el caudal a sección llena  $Q_b$ . Siendo  $c_1$  el coeficiente y  $\varepsilon_1$  el exponente según la expresión:

$$w_b = c_1 \cdot Q_b^{\varepsilon_1}$$

- Relación entre el ancho de la sección transversal  $w$  y el caudal  $Q$ . Siendo  $c_2$  (\*) el coeficiente y  $\varepsilon_2$  el exponente según la expresión:

$$w_t = c_2 \cdot Q_t^{\varepsilon_2}$$

(\*): En la expresión anterior, no es necesario estimar un valor para el coeficiente  $c_2$ , al estar completamente determinado en función del caudal a banca llena y del ancho de la sección dominante. En efecto, si  $Q_t=Q_b$  :  $w=w_b$ ,  $\therefore c = w_b \cdot Q_b^{-\varepsilon_2}$

- Relación entre el diámetro característico del sedimento  $d$ , la pendiente del cauce  $s_0$  y el calado  $y$ . Siendo  $c_d$  el coeficiente y  $\theta$  el exponente, según la expresión:

$$d = c_d \cdot (y s_0)^\theta$$

- Relación entre el coeficiente de rugosidad  $n$  y el diámetro característico del sedimento  $d$ . Siendo  $c_n$  el coeficiente y  $\xi$  el exponente según la expresión:

$$n = c_n \cdot d^\xi$$

El modelo de producción y el modelo de traslación presentados en TETIS incluyen unos factores correctores que corrigen de forma global los diferentes parámetros, permitiendo una calibración (manual o automática) rápida y ágil de los diferentes procesos representados aprovechando la información utilizada en su estimación previa. Estos factores correctores tratan de corregir los errores siguientes:

- De estimación inicial de los parámetros
- En la información hidrometeorológica de entrada al modelo
- En el propio modelo
- Efectos de escala espacio-temporal

Los factores correctores que afectan directamente la producción de escorrentía son:

- FC1. Almacenamiento estático
- FC2. Evapotranspiración
- FC3. Infiltración
- FC4. Escorrentía directa

- FC<sub>5</sub>. Percolación
- FC<sub>6</sub>. Interflujo
- FC<sub>7</sub>. Pérdidas subterráneas
- FC<sub>8</sub>. Flujo base
- $\beta$ . Factor de interpolación de lluvia con la altura

Para la traslación de la onda cinemática geomorfológica se emplea un factor corrector para la velocidad de la onda, FC<sub>9</sub>.

Es necesario establecer también el estado de humedad inicial del proceso de simulación en cada uno de los almacenamientos o tanques. Este valor, común para cada tanque dentro de una región, se asigna de la siguiente forma:

- H<sub>1</sub>, almacenamiento estático, que está dado como un porcentaje de su capacidad máxima.
- H<sub>2</sub>, almacenamiento superficial, dado como una cantidad de agua disponible, normalmente nula o muy baja.
- H<sub>3</sub>, almacenamiento gravitacional, dado como una cantidad de agua disponible desde el inicio del episodio.
- H<sub>4</sub>, estado inicial del acuífero, dado como una cantidad de agua al inicio del evento.
- H<sub>5</sub>, estado inicial de cárcavas y cauces, dado como un porcentaje del caudal a sección llena
- H<sub>6</sub>, estado inicial del tanque de intercepción, dado como un porcentaje del valor máximo de almacenamiento
- H<sub>0</sub>, estado inicial del tanque de nieve, dado como una altura equivalente de agua.

Estas variables de estado se establecen globalmente, es decir, son iguales para todas las celdas en cada una de las regiones geomorfológicamente homogéneas, pero para cada evento deben ser calibrados mediante el proceso de ensayo y error.

### 3.3 CALIBRACIÓN DE LOS FACTORES CORRECTORES

Para la fase de calibración se utilizan los Factores Correctores (FC) que definen los distintos procesos hidrológicos que se dan dentro del modelo. Su objetivo es ajustar la respuesta hidrológica de la cuenca, ocasionada por la precipitación de lluvia o de nieve que proporciona el modelo, con la variabilidad de los procesos hidrológicos que se dan de manera natural.

El modelo TETIS puede realizar una calibración automática y/o manual a través de la variación de los factores correctores, para ello se sirve de una función objetivo que permite evaluar el rendimiento del modelo hidrológico. Los elementos que pueden ser calibrados manual o automáticamente en TETIS son:

- Los factores correctores de los procesos de producción y propagación de la escorrentía.
- Los valores iniciales de las variables de estado de almacenamiento.
- Los coeficientes de correlación con la altura para la interpolación espacial.

En el presente trabajo, se han utilizado generalmente las dos calibraciones (automática y manual) en función de las características de la cuenca hidrológica a calibrar y de los datos de partida de los factores correctores, que se determinaron en los trabajos de "Actualización de la evaluación de los recursos hídricos de la CAPV 2010". En los dos tipos de calibración se han utilizado distintos criterios para evaluar el rendimiento del modelo.

En los procesos de **calibración manual**, se optó por utilizar el coeficiente de eficiencia *NSE* o índice de Nash-Sutcliffe, junto con el error medio cuadrático (*RMSE*), para la verificación de la mejora de ajuste en los registros de aguas bajas, que se determinaban en dos fases: la primera con los registros por debajo del percentil Q<sub>75</sub> y la segunda con los registros por debajo del percentil Q<sub>90</sub>. A continuación se detallan sus ecuaciones:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Q_i - \hat{Q}_i)^2)}{n}}$$

Donde  $\hat{Q}_i$  es el caudal simulado,  $Q_i$  el caudal observado y  $n$  es el número de observaciones.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2}$$

Siendo  $\bar{Q}_i$  el valor medio de los caudales observados.

La calificación de los procesos de calibración y validación utilizando el *NSE* se muestra a continuación. Un perfecto ajuste sugiere un valor igual a uno, cuando el valor es cero indica que el modelo no es mejor si se compara con un modelo de una sola variable y los valores negativos indican que el modelo se comporta peor.

Figura 16. - Calificación de los procesos de calibración y validación utilizando el NSE

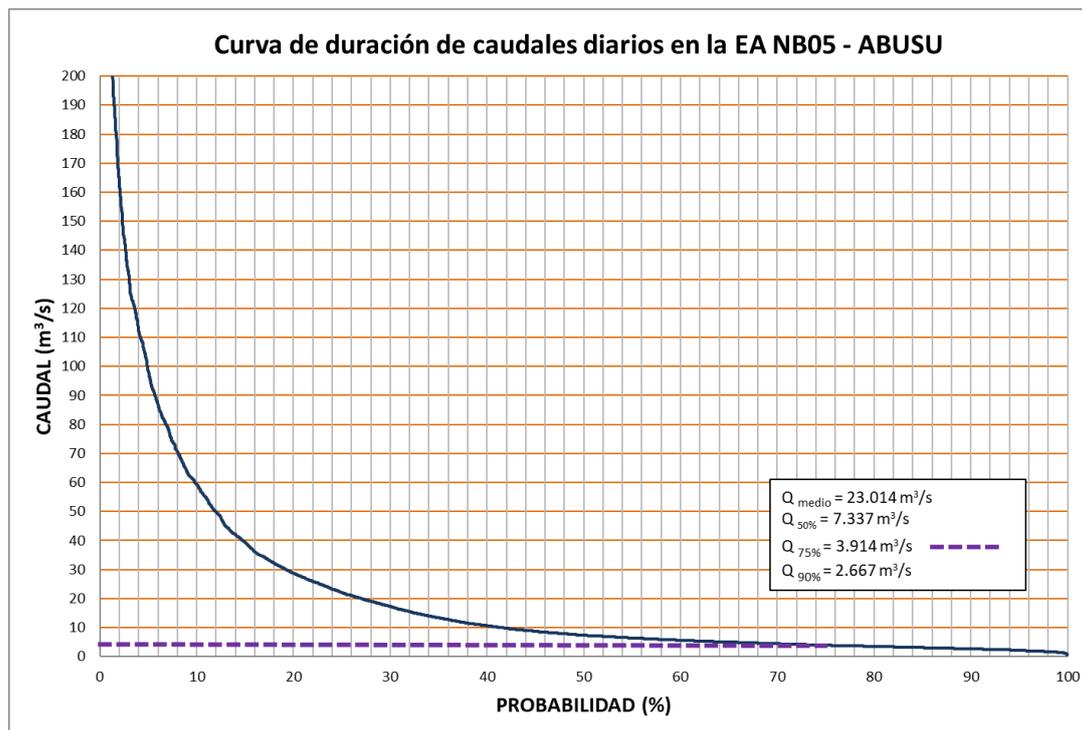
CALIBRACIÓN	VALIDACIÓN	CALIFICACIÓN
0.8 < NSE ≤ 1.0	0.7 < NSE ≤ 1.0	EXCELENTE
0.7 < NSE ≤ 0.8	0.6 < NSE ≤ 0.7	BUENA
0.6 < NSE ≤ 0.7	0.5 < NSE ≤ 0.6	ACEPTABLE

En el caso de la **calibración automática**, la función objetivo utilizada ha sido el índice de Nash – Sutcliffe (*NSE*) por rangos, correspondientes a varios umbrales de caudal a los cuales se les asignan diferentes pesos. El objetivo de esta calibración se basa en dar más peso a los registros de aguas bajas, para que el modelo se ajuste mejor a estos valores. Para obtener el valor de los umbrales de caudal, se realizó el análisis de la curva de duración de caudales diarios de las estaciones de aforo utilizadas para la calibración.

Los umbrales de caudal seleccionados han sido el caudal medio y el percentil  $Q_{75}$ . Los pesos dados han sido  $P_1 = 75\%$  para todos los caudales menores a  $Q_{75}$ ,  $P_2 = 20\%$  para todos los caudales menores al caudal medio y  $P_3 = 5\%$  para todos los caudales mayores al caudal medio.

A continuación, se muestra como ejemplo, una de las curvas obtenidas.

Figura 17. - Ejemplo de CDC de la estación de aforo NB05 - Abusu



Otros criterios utilizados para evaluar la precisión de los modelos, fueron:

- La visualización conjunta de la representación gráfica de los hidrogramas observado y simulado, en escala logarítmica (criterio de experto).
- El balance general del agua o porcentaje de error en volumen.

$$\%errVol = \frac{\hat{V}_p - V_o}{V_o} \times 100\%$$

Siendo  $\hat{V}_p$  el volumen total simulado y  $V_o$  el volumen total observado. Valores positivos indican subestimación y valores negativos sobrestimación.

- Y el *RMSE* para caudales bajos, como comprobación de mejora en la calibración de estos caudales.

Por lo general, el índice o criterio más utilizado ha sido el índice de Nash-Sutcliffe, sin embargo, en todos los casos ha sido necesario considerar el resto de los criterios mencionados.

El proceso de calibración se llevó a cabo de forma aislada para cada unidad hidrológica, partiendo de los datos geomorfológicos de los modelos generados en los trabajos de “Actualización de la evaluación de recursos hídricos de la CAPV 2010”.

En la generación de los nuevos modelos se han tenido en cuenta una serie de características básicas de modelización que se exponen a continuación:

- Determinación de 3 estaciones de precipitación como máximo para interpolar, con el fin de optimizar los tiempos de computación.
- La corrección del efecto orográfico de la precipitación a través de la cota y de la precipitación observada, posteriormente revisada por el factor  $\beta$ .

- La determinación de que cada cuenca vertiente modelizada sea una única región homogénea y que existen diferencias entre los valores de los parámetros entre las cárcavas y los cauces.

El proceso de calibración que se ha seguido de manera generalizada se ha dividido en tres fases:

1. Una vez generado el modelo en la nueva versión de TETIS, utilizando los factores correctores (FC) del modelo, los estados iniciales (H) y el factor  $\beta$  determinados en el estudio previo, se lleva a cabo una **calibración preliminar**. El resultado en la mayoría de los modelos no ha sido satisfactorio por lo que se ha procedido a una nueva fase de calibración, en la cual se han ajustado los FC. Los estados iniciales, almacenamiento estático, agua en superficie, almacenamiento gravitacional, estado inicial del acuífero, caudal en el cauce e intercepción por la vegetación, de manera general no han sido modificados salvo en alguna estación, ya que, en las calibraciones de periodos tan largos, como los usados en este trabajo, no tienen una influencia marcada.
2. Posteriormente, se ha llevado a cabo una **calibración manual** ajustando los parámetros en función de las características de la UH o cuenca vertiente, a partir de variaciones de los parámetros iniciales o a partir de valores recomendados en la literatura. Los siguientes factores correctores son los que menos variación presentan y cuyos cambios están más controlados: el almacenamiento estático (FC1), la evapotranspiración (FC2), la escorrentía directa (FC4) y la velocidad de la onda (FC9), estos últimos relacionados con la velocidad de flujo. Estos dos últimos factores y FC1 pueden pasar a la calibración una vez que se han acotado sus valores con el objeto de hacerla más eficiente y reducir los tiempos de computación. Para esta calibración se utiliza como función objetivo el *NSE*.

Señalar que para todas las modelizaciones el factor de pérdidas subterráneas (FC7) asume un valor 0 ya que en la mayoría de las cuencas estas pérdidas son muy pequeñas y cercanas a 0.

3. Por último, se realiza la **calibración automática**, en la que generalmente se calibran los factores con una mayor variabilidad que son la infiltración (FC3), la percolación (FC5) y el flujo base (FC8). Sin embargo, en algunos casos, en fases posteriores de calibración, estos valores se han alterado para obtener un mejor ajuste. En la mayor parte de los casos en esta fase se ha empleado una selección de las estaciones pluviométricas más representativas y completas de cada cuenca, con el fin de disminuir los tiempos de computación. Para la calibración automática se utiliza como función objetivo el *NSE* por rangos, según se ha comentado anteriormente.

En algunos casos se ha aplicado una cuarta fase de calibración que consiste en una vez terminada la calibración automática, a la vista de los resultados obtenidos frente a la calibración manual, algunos de los factores correctores vuelven a ser modificados subjetivamente a criterio de experto, buscando un modelo hidrológico más robusto y con mejor ajuste.

A continuación, se muestra una tabla con las estaciones seleccionadas para el proceso de calibración / validación con sus nuevas coordenadas y el área de drenaje estimada por el modelo TETIS, la cual varía de acuerdo a la nueva discretización espacial con respecto a las obtenidas con el modelo digital del terreno inicial.

Tabla 6. Localización de las Estaciones de aforo utilizadas en la calibración

U. H.	EA Código	UTM X	UTM Y	UTM X TETIS	UTM Y TETIS	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie TETIS (km <sup>2</sup> )
Agüera	AG01	479138	4791671	478900	4792200	46.12	51
Arakil	AN433	593850	4751700	593850	4751700	373	372.5
Artibai	AR02	542625	4794896	542873	4794636	94.52	95.25
Baia	9165	505895	4726284	505220	4727210	318	308.5
Barbadun	BA01	488788	4792201	488788	4792201	85.02	76

U. H.	EA Código	UTM X	UTM Y	UTM X TETIS	UTM Y TETIS	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie TETIS (km <sup>2</sup> )
Bidasoa	F1W1	599653	4791540	599245	4791734	6.19	6.5
Butroe	BU02	512568	4801183	512568	4801183	100.85	105.5
Deba	A3Z1	548875	4787305	548735	4787767	464.25	459.5
Deba	A1Z2	545771	4767676	545732	4767723	105.78	100.25
Deba	A1Z1	544970	4769996	544273	4770269	121.78	122
Ega	AN311	558619	4725745	558720	4726200	411.7	394.25
Ibaizabal	NB05	507125	4788280	506728	4788276	996.65	1011
Ibaizabal	SA07	532153	4782352	532153	4782352	8.52	10.25
Ibaizabal	IB03	521800	4785098	521800	4785098	235.14	225
Ibaizabal	KD01	482310	4780490	482258	4780715	195.81	195.5
Ibaizabal	NB02	501695	4774945	501217	4774301	185.44	196.25
Ibaizabal	KD12	496487	4783298	496238	4782791	253.18	252.25
Ibaizabal	IB21	526365	4782396	526365	4782396	22.38	21
Ibaizabal	AS01	505714	4792915	505700	4793800	50.89	56.75
Ibaizabal	IB32	518620	4781370	518300	4781370	129.48	136.5
Ibaizabal	NB04	509916	4785232	509262	4785261	506.57	514.5
Inglares	RC_IN02HM	522591	4721744	522591	4721744	38	39.75
Karrantza	KR02	468980	4788860	468980	4788860	110.6	114.5
Lea	LE02	539900	4799184	539247	4798800	59.06	57
Oiartzun	E1W1	590450	4795472	590721	4795302	56.6	57.5
Oka	OK01	525325	4793010	525250	4792339	31.56	23
Omecillo	9188	496344	4736791	496298	4737141	350	336.75
Oria	C5Z1	572833	4772293	572939	4772600	333.34	337.5
Oria	C1Z2	563595	4766708	563345	4767140	55.02	55.5
Oria	C9Z1	579431	4789118	579424	4789327	796.5	792.75
Oria	C6Z1	573018	4775060	573334	4775199	29.49	27.25
Urola	B1Z1	555086	4773482	554268	4773768	56.13	57.25
Urola	B2Z1	561501	4789237	560257	4788721	269.77	268.25
Urola	B1Z2	560460	4780334	560693	4780322	62.73	64
Urumea	D2W1	586123	4788021	586229	4788231	218.42	208.75
Zadorra	9074	508458	4724993	508458	4724993	1357	1359.25
Zadorra	9075	509497	4725369	509600	4725600	307	309

En total se han calibrado 37 estaciones de aforo, una por cuenca excepto en las unidades hidrológicas Deba, Ibaizabal, Oria, Urola y Zadorra.

A continuación, se muestra una tabla resumen con el valor de los parámetros finales utilizados en cada estación de calibración, así como el índice NSE y el error en volumen obtenidos.

Tabla 7. *Parámetros utilizados en la calibración*

U. H.	Código EA	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	$\beta$	NSE	Error Vol.(%)
Agüera	AG01	0.93	1.00	0.25	0.54	0.08	1200	0	400	0.0009	-0.0030	0.80	4.54
Arakil	AN433	1.20	1.00	0.20	0.25	0.03	1500	0	502	0.0140	0.0000	0.64	0.65
Artibai	AR02	1.10	0.93	0.07	0.50	0.01	579	0	100	0.0025	0.0009	0.80	5.89
Baia	9165	0.70	0.93	0.50	0.80	0.01	1500	0	250	0.0100	0.0006	0.57	1.65
Barbadun	BA01	1.50	0.93	0.15	1.00	0.05	692	0	60	0.0022	0.0000	0.79	11.40
Bidasoa	F1W1	0.75	0.90	0.16	0.00	0.99	2000	0	191	0.0050	0.0002	0.68	-3.36
Butroe	BU02	1.30	0.85	0.05	1.00	0.05	392	0	176	0.0029	0.0010	0.64	8.99
Deba	A3Z1	1.17	1.00	0.30	0.02	0.12	964	0	100	0.0070	0.0008	0.85	0.53
Deba	A1Z2	1.50	0.93	0.36	0.06	0.05	2421	0	287	0.0026	0.0018	0.80	4.90
Deba	A1Z1	1.10	0.93	0.50	0.50	0.18	1865	0	300	0.1000	0.0004	0.81	-1.73
Ega	AN311	1.09	0.87	0.20	0.14	0.03	150	0	250	0.0020	0.0003	0.52	-0.76
Ibaizabal	NB05	1.00	0.90	0.10	0.05	0.13	1001	0	205	0.0055	0.0005	0.80	9.53
Ibaizabal	SA07	1.00	0.85	0.27	0.55	1.02	1500	0	121	0.0010	0.0003	0.67	4.71
Ibaizabal	IB03	0.93	0.73	0.10	0.00	0.20	800	0	201	0.0150	0.0003	0.79	-2.94
Ibaizabal	KD01	1.20	0.93	0.22	0.75	0.20	300	0	51	0.0010	0.0020	0.56	0.54
Ibaizabal	NB02	1.20	0.93	0.16	1.00	0.15	1751	0	277	0.0080	0.0000	0.76	-7.12
Ibaizabal	KD12	1.42	1.10	0.20	0.01	0.01	500	0	300	0.0090	0.0000	0.77	1.69
Ibaizabal	IB21	0.77	0.93	0.17	0.05	0.82	100	0	130	0.0010	0.0000	0.61	-8.02
Ibaizabal	AS01	1.01	0.93	0.20	0.10	0.06	1955	0	200	0.0090	0.0000	0.67	5.28
Ibaizabal	IB32	0.91	0.85	0.51	0.62	0.06	1000	0	100	0.0100	0.0001	0.68	-0.30
Ibaizabal	NB04	1.17	0.93	0.02	0.10	0.05	2962	0	300	0.0110	0.0005	0.65	11.60
Inglares	RC_IN02HM	1.20	0.93	0.50	0.00	0.60	50	0	74	0.1000	0.0005	0.36	-2.62
Karrantza	KR02	1.00	0.80	0.11	0.15	0.05	1250	0	750	0.0015	0.0002	0.80	8.63
Lea	LE02	0.80	0.93	0.11	1.00	0.10	601	0	200	0.0020	0.0010	0.76	-3.47
Oiartzun	E1W1	1.32	0.95	0.36	0.20	0.47	1853	0	566	0.0020	0.0002	0.88	5.44
Oka	OK01	0.50	0.90	0.13	1.00	0.15	1582	0	186	0.0025	0.0020	0.69	-4.46
Omecillo	9188	1.01	1.00	6.71	0.20	0.00	915	0	101	0.0105	0.0007	0.24	1.83
Oria	C5Z1	1.00	0.93	0.33	0.60	0.09	2500	0	170	0.0100	0.0003	0.84	2.66
Oria	C1Z2	1.00	0.80	0.10	0.01	0.10	500	0	300	0.0150	0.0000	0.74	3.06
Oria	C9Z1	1.00	0.93	0.60	0.50	0.25	2000	0	200	0.0100	0.0002	0.83	-2.96
Oria	C6Z1	0.95	0.80	0.11	0.01	2.36	1958	0	175	0.0012	0.0002	0.70	-5.23
Urola	B1Z1	1.17	1.10	0.07	1.00	0.06	1011	0	150	0.0019	0.0000	0.80	-5.88
Urola	B2Z1	1.37	1.00	0.38	0.10	0.22	1422	0	150	0.0100	0.0002	0.84	-6.61
Urola	B1Z2	1.00	0.90	0.15	1.00	0.25	1011	0	100	0.0026	0.0007	0.73	8.40
Urumea	D2W1	0.97	0.90	0.69	0.01	0.30	700	0	268	0.0100	0.0030	0.79	1.90
Zadorra	9074	0.90	0.80	0.15	0.51	0.08	201	0	100	0.0031	0.0020	0.63	-6.14
Zadorra	9075	1.10	0.93	0.50	0.15	0.30	150	0	906	0.0031	0.0001	0.69	0.38

El índice de Nash-Sutcliffe indica que las calibraciones con resultados más bajos se presentan en las UH Omecillo, Inglares y Ega, lo que puede deberse a problemas en la medición de caudal en las estaciones de calibración (que tienen mucha variabilidad y los caudales son muy bajos), así como a la compleja caracterización del ámbito calibrado. Además, cabe mencionar que los datos utilizados a la hora de restituir las series en régimen alterado tienen un grado de incertidumbre asociado que es necesario considerar al valorar los resultados.

En general, las calibraciones han permitido reproducir los caudales naturales en las estaciones de aforo con bastante exactitud. En el Anejo IV se recogen los datos diarios utilizados para llevar a cabo las calibraciones por unidad hidrológica. A continuación, se muestran algunos ejemplos de los resultados de las calibraciones efectuadas en distintas zonas de la CAPV, tanto en escala aritmética como logarítmica.

Figura 18. - Calibración de la estación de aforo Altzola en la U.H. Deba

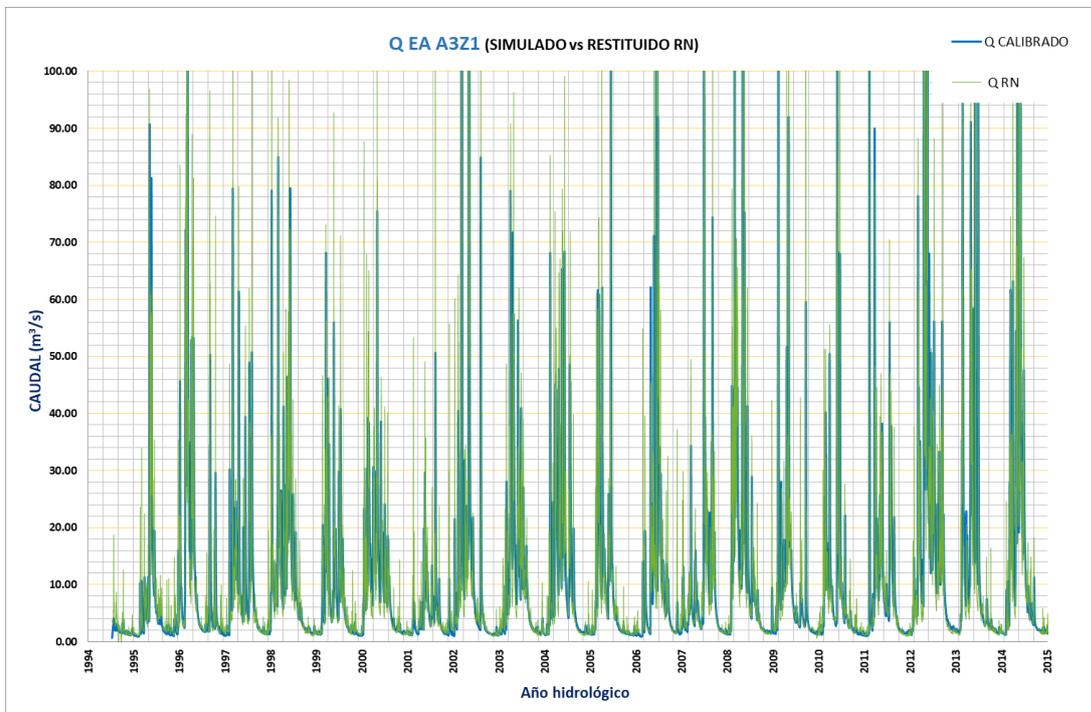


Figura 19. - Calibración de la estación de aforo Altzola en la U.H. Deba –representación logarítmica

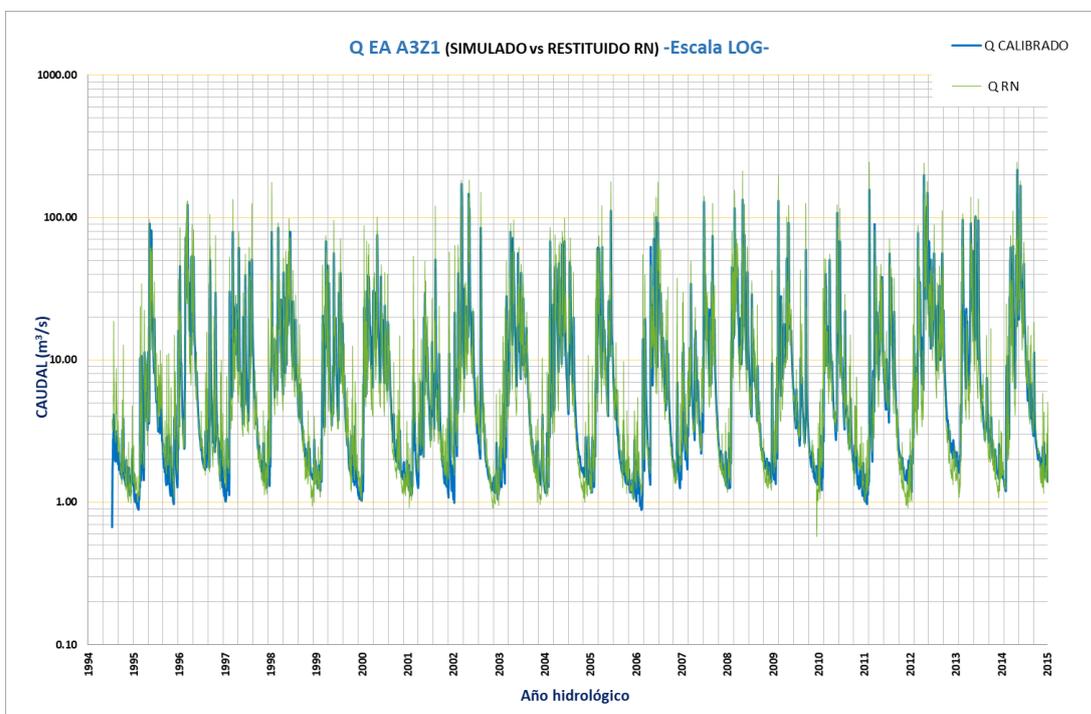


Figura 20. - Calibración de la estación de aforo Oleta en la U.H. Lea

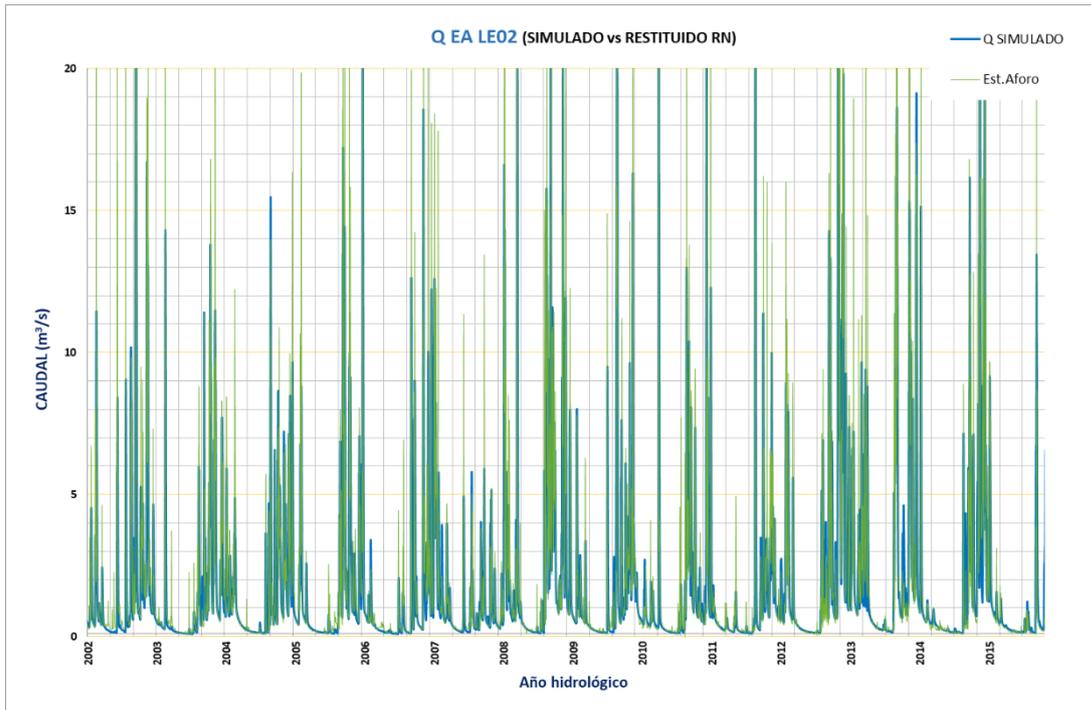


Figura 21. - Calibración de la estación de aforo Oleta en la U.H. Lea –representación logarítmica

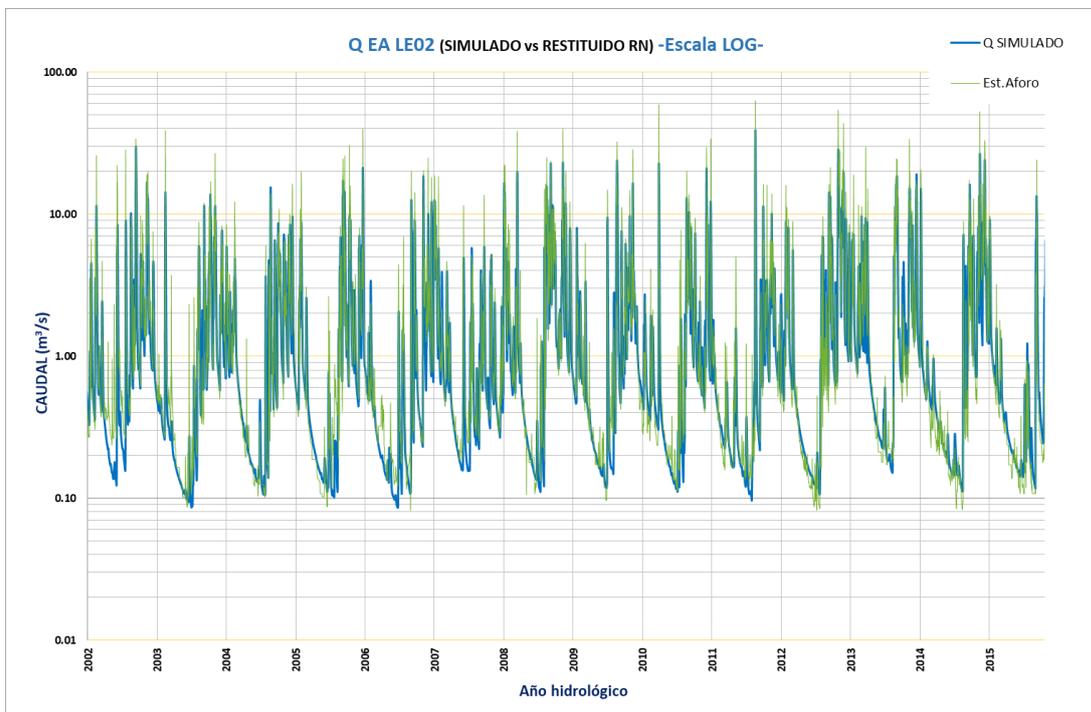


Figura 22. - Calibración de la estación de aforo Amorebieta en la U.H. Ibaizabal

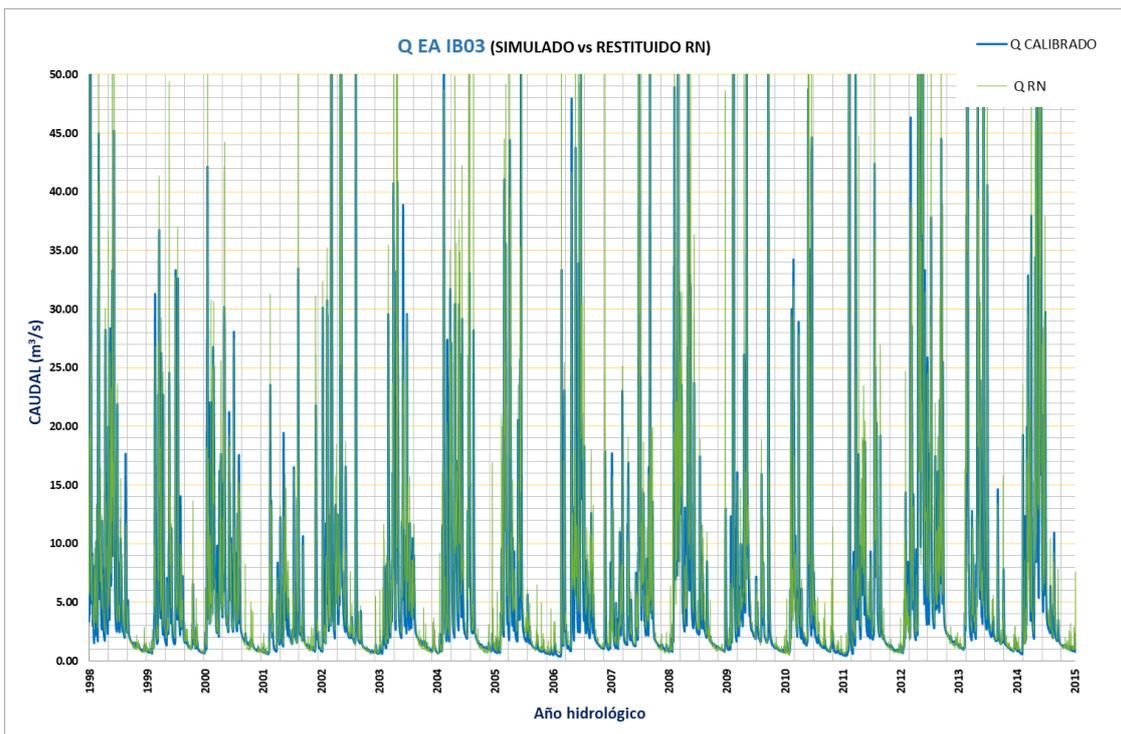


Figura 23. - Calibración de la estación de aforo Amorebieta en la U.H. Ibaizabal –representación logarítmica

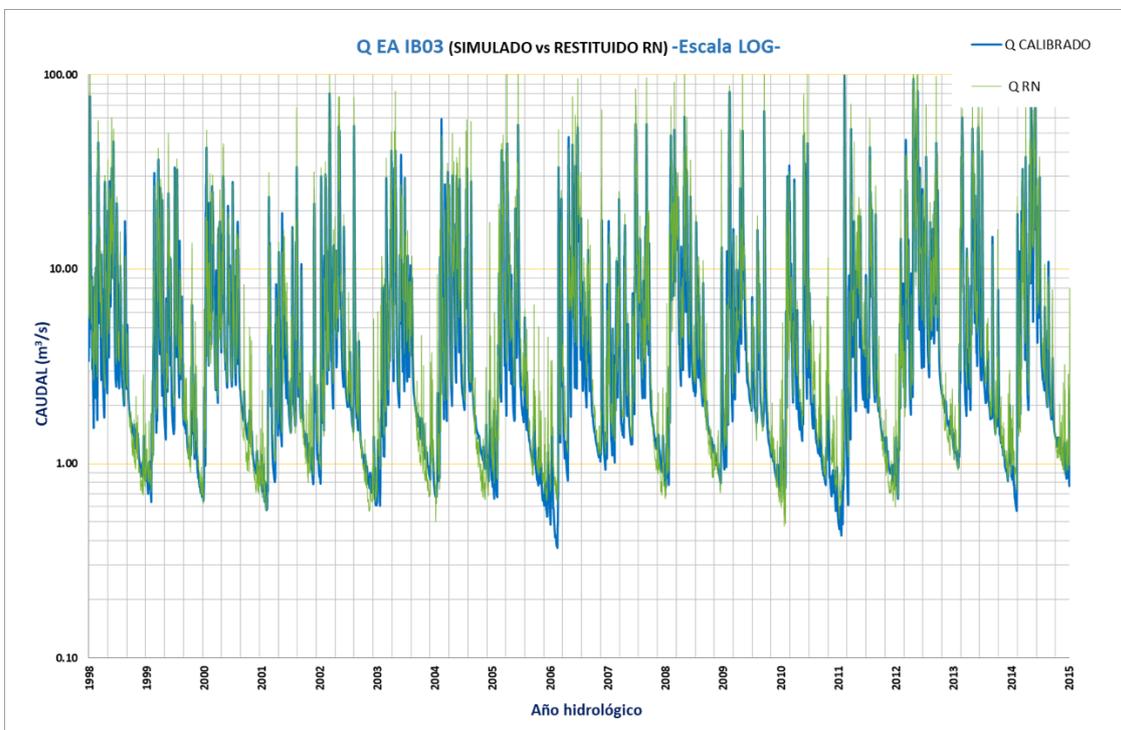


Figura 24. - Calibración de la estación de aforo Oiartzun en la U.H. Oiartzun

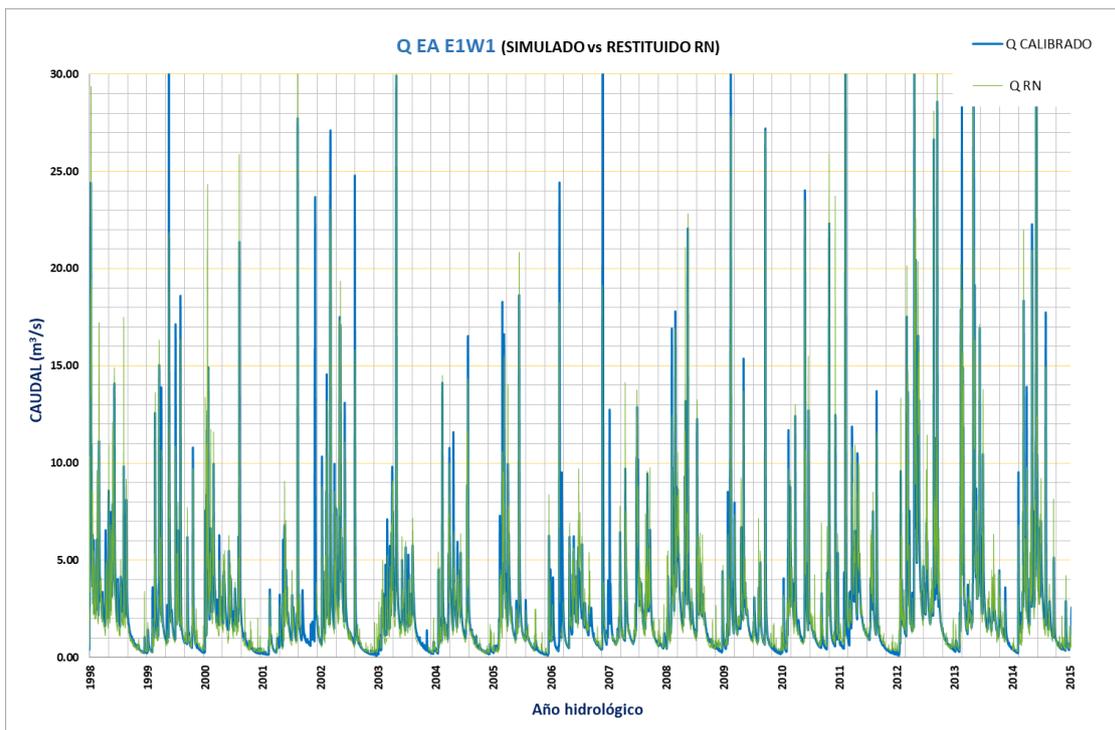
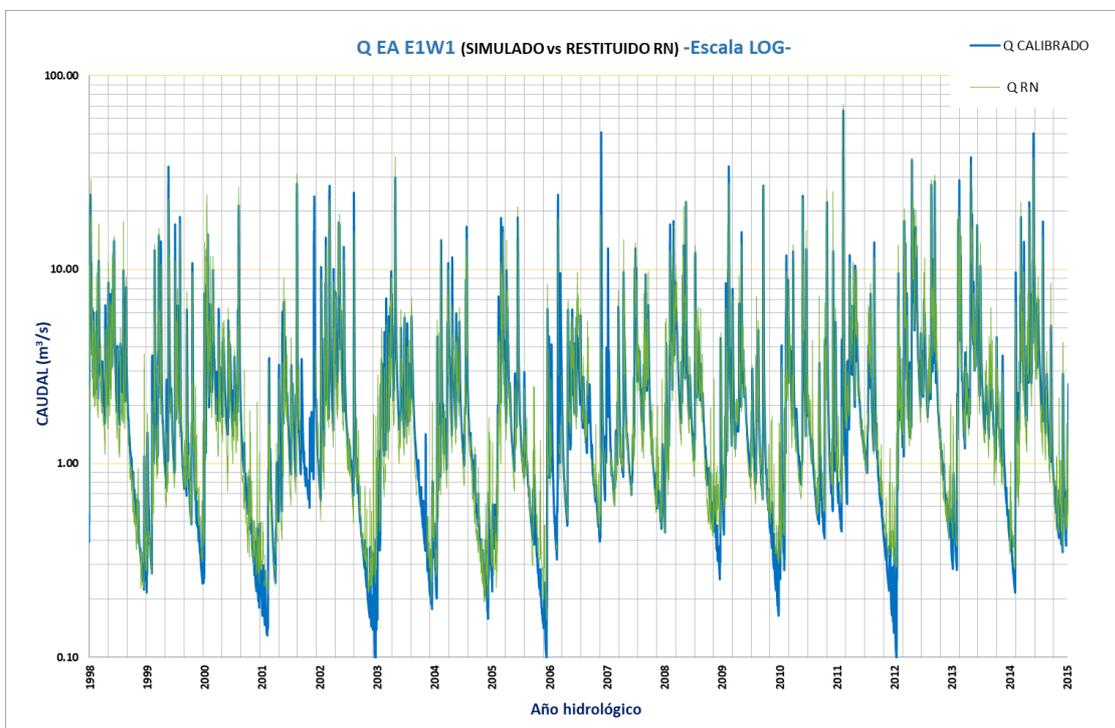


Figura 25. - Calibración de la estación de aforo Oiartzun en la U.H. Oiartzun –representación logarítmica



Una vez calibrado el modelo para cada estación de referencia, se ha comprobado su validez en un escenario distinto al de calibración, esto para demostrar que los componentes hidrológicos dominantes en la cuenca han sido adecuadamente simulados y que el rendimiento de predicción

deseada puede ser alcanzado y fiable. El escenario utilizado ha sido el de la validación espacial, es decir en otro punto de la cuenca y mismo período de tiempo de calibración.

Partiendo de los factores correctores calibrados, se ha procedido a la validación espacial de los modelos, utilizando los datos de las estaciones de aforo no empleadas en la calibración. A continuación, se muestran las validaciones realizadas.

Tabla 8. Localización de las Estaciones de aforo utilizadas en la validación

U. H.	EA Código	UTM X	UTM Y	UTM X TETIS	UTM Y TETIS	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie TETIS (km <sup>2</sup> )
Artibai	AR01	538580	4789618	538580	4789618	24.09	26.5
Baia	RC_BA02HM	513848	4758370	513850	4758370	39	39
Butroe	GATIKA	507434	4802167	507216	4802600	143.32	143.5
Deba	A1T3	546413	4765049	546413	4765049	59.52	51.75
Ega	9006	545158	4719632	545710	4719785	87	78.5
Ibaizabal	KD03	496099	4783514	495779	4783248	276.78	277.5
Ibaizabal	NB01	499783	4764591	499780	4764600	85.34	93.5
Ibaizabal	NB13	507019	4775002	506765	4774804	181.6	180.5
Lea	LE01	535907	4794274	535907	4794274	38.88	35.5
Oka	SA06	528478	4799451	528246	4799300	14.25	16.25
Omecillo	SA21	494738	4748749	494738	4748749	76	75.2
Oria	C2Z1	567033	4762906	566900	4763120	69.64	73.75
Oria	C4Z1	571731	4768129	571837	4768338	5.96	5.5
Oria	SA12	574520	4765917	574178	4766263	0	17.75
Oria	C1W3	562209	4769961	562219	4770109	2.77	5.5
Oria	C8Z1	579978	4784422	580084	4784631	110.01	115.75
Oria	C7Z1	577447	4776899	577553	4777108	33.34	34.5
Oria	C6Z2	577470	4773786	577576	4773980	92.61	96.25
Urumea	D1W1	593408	4786507	593514	4786717	47.69	45.5
Zadorra	9221	521862	4757556	521850	4757802	22	19.25

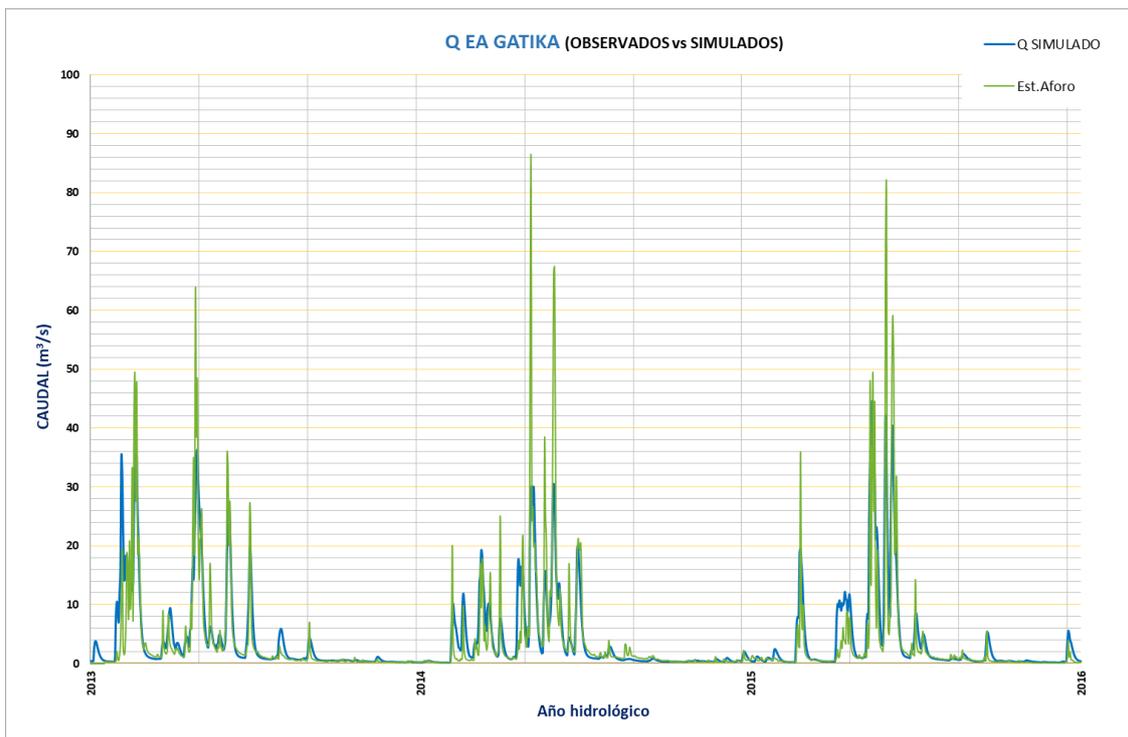
La mayoría de las validaciones realizadas arrojan buenos resultados. En aquellas donde no ha sido así, se han realizado análisis que han permitido considerar los resultados como hidrológicamente aceptables.

Estos resultados no tan favorables de las validaciones, pueden estar originados por alguno o por la combinación de los siguientes factores:

- Estaciones de aforo con errores de observación por un mal tarado de la curva de aforo, precisión en caudales de estiaje y/o de otro tipo.
- Errores en la medición de la lluvia, por una insuficiente representación espacial.
- Cuencas muy pequeñas, en las que el error en los mapas de parámetros iniciales puede ser en ocasiones importante.
- Determinados acuíferos, como en el caso de Peñacerrada.

Como ejemplo, se muestran de forma gráfica los resultados de la validación espacial en la unidad hidrológica Butroe.

Figura 26. - Validación espacial en la estación de aforo Gatika de la U.H. Butroe



### 3.4 SIMULACIÓN

Una vez configurado el modelo que representa cada unidad hidrológica, se ha procedido a obtener, a través de las simulaciones, las series de recursos naturales en los puntos más bajos de las masas de agua superficial para el periodo 1980/2016.

En la siguiente tabla, se muestran las masas de agua para las que se han realizado las simulaciones:

U.H.	COD MASA DE AGUA RÍO	NOMBRE MASA DE AGUA RÍO	ESTACIÓN DE REFERENCIA
Agüera	ES076MAR000012	Río Agüera I	AG01-Pando
Arakil	ES091MSPF549	Río Arakil desde su nacimiento hasta el río Altzania (inicio del tramo canalizado).	AN433 Arakil en Etxarren
Arakil	ES091MSPF550	Río Altzania desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Arakil (inicio del tramo canalizado).	AN433 Arakil en Etxarren
Artibai	ES111R044010	Artibai- A	AR02 Berriatua
Baia	ES091MSPF1701	Río Padrobaso desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Bayas	9165 Río Bayas en Miranda de Ebro
Baia	ES091MSPF485	Río Bayas desde su nacimiento hasta la captación de abastecimiento a Vitoria en el Pozo de Subijana	9166 Río Bayas en Miranda de Ebro
Baia	ES091MSPF240	Río Bayas desde la captación de abastecimiento a Vitoria en el Pozo de Subijana hasta su desembocadura en el río Ebro.	9167 Río Bayas en Miranda de Ebro
Barbadun	ES111R075010	Barbadun- A	BA01 Arenao
Barbadun	ES111R075020	Barbadun- B	BA01 Arenao
Bidasoa	ES010MAR002430	Río Endara	F1W1 Endara
Bidasoa	ES111R012010	Jaizubia- A	F1W1 Endara
Butroe	ES111R048010	Butroe- A	BU02 Mungia

U.H.	COD MASA DE AGUA RÍO	NOMBRE MASA DE AGUA RÍO	ESTACIÓN DE REFERENCIA
Butroe	ES111R048020	Butroe- B	BU02 Mungia
Butroe	ES111R048030	Estepona- A	BU02 Mungia
Deba	ES111R040020	Angiozar- A	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R040080	Antzuola- A	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R036020	Aramaio- A	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R036010	Deba- A	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R040010	Deba- B	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R040030	Ubera- A	A1Z1 San Prudentzio
Deba	ES111R040060	Arantzazu- A	A1Z2 Oñati
Deba	ES111R040070	Embalse Urkulu	A1Z2 Oñati
Deba	ES111R040040	Oinati- A	A1Z2 Oñati
Deba	ES111R040050	Oinati- B	A1Z2 Oñati
Deba	ES111R042010	Deba- C	A3Z1 Altzola
Deba	ES111R042020	Deba- D	A3Z1 Altzola
Deba	ES111R041020	Ego- A	A3Z1 Altzola
Deba	ES111R041010	Embalse Aixola	A3Z1 Altzola
Deba	ES111R042030	Kilimoi- A	A3Z1 Altzola
Deba	ES111R044020	Saturraran- A	A3Z1 Altzola
Ega	ES091MSPF508	Río Urederra desde su nacimiento hasta la estación de aforos número 70 en la Central de Eraul (incluye río Contrasta).	AN311 Ega en Arquijas
Ega	ES091MSPF1742	Río Ega I desde el río Istora hasta el río Urederra.	AN311 Ega en Arquijas
Ega	ES091MSPF281	Río Ega I desde el río Ega II hasta el río Istora (incluye río Istora).	AN311 Ega en Arquijas
Ega	ES091MSPF507	Río Ega II desde su nacimiento hasta el río Sabando (incluye ríos Igoroin y Bezorri).	AN311 Ega en Arquijas
Ega	ES091MSPF280	Río Ega II desde el río Sabando hasta su desembocadura en el río Ega I (incluye ríos Sabando e Izki).	AN311 Ega en Arquijas
Ega	ES091MSPF279	Río Ega I desde su nacimiento hasta el río Ega II (incluye ríos Ega y Bajauri).	AN311 Ega en Arquijas
Ibaizabal	ES056MAR002730	Río Zeberio	NB04 Zaratamo
Ibaizabal	ES055MAR002721	Río Altube I	NB04 Zaratamo
Ibaizabal	ES055MAR002722	Río Altube II	NB04 Zaratamo
Ibaizabal	ES059MAR002780	Río Ibaizabal I	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES065MAR002810	Río Ibaizabal II	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES068MAR002842	Río Ibaizabal III	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES059MAR002760	Arroyo de Akelkorta	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES060MAR002740	Río Elorrio I	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES059MAR002750	Río Elorrio II	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES065MAR002770	Río San Miguel	IB03 Amorebieta
Ibaizabal	ES068MAR002841	Río Nervión II	NB05 Abusu
Ibaizabal	ES067MAR002830	Río Amorebieta-Aretxabalgane	NB05 Abusu
Ibaizabal	ES073MAR002890	Río Herrerías	KD12 Sodupe en Herrerías
Ibaizabal	ES052MAR002690	Río Nervión I	NB02 Gardea
Ibaizabal	ES052MAR002710	Río Izoria	NB02 Gardea
Ibaizabal	ES051MAR002700	Embalse de Maroño Izoria	NB02 Gardea
Ibaizabal	ES066MAR002800	Río Indusi	IB32 Urkizu
Ibaizabal	ES067MAR002790	Río Arratia	IB32 Urkizu

U.H.	COD MASA DE AGUA RÍO	NOMBRE MASA DE AGUA RÍO	ESTACIÓN DE REFERENCIA
Ibaizabal	ES073MAR002900	Río Cadagua II	KD03-Sodupe(Kadagua)
Ibaizabal	ES073MAR002910	Río Cadagua III	KD03-Sodupe(Kadagua)
Ibaizabal	ES073MAR002920	Río Cadagua IV	KD03-Sodupe(Kadagua)
Inglares	ES091MSPF492	Río Inglares desde su nacimiento hasta la población de Pipaón.	RC_IN02HM Pagoeta (Peñacerrada)
Inglares	ES091MSPF255	Río Inglares desde la población de Pipaón hasta su desembocadura en el río Ebro (incluye río de la Mina).	RC_IN02HM Pagoeta (Peñacerrada)
Karrantza	ES083MAR002310	Río Karrantza	KR02-Karrantza
Karrantza	ES079MAR000040	Río Calera	KR02-Karrantza
Lea	ES111R045010	Lea- A	LE02 Oleta
Lea	ES111R045020	Ea- A	LE02 Oleta
Oiartzun	ES111R014010	Oiartzun- A	E1W1 Oiartzun
Oka	ES111R046040	Artigas- A	OK01 Muxika
Oka	ES111R046030	Golako- A	OK01 Muxika
Oka	ES111R046020	Mape- A	OK01 Muxika
Oka	ES111R046010	Oka- A	OK01 Muxika
Omecillo	ES091MSPF236	Río Omecillo desde el río Salado hasta la cola del Embalse de Puentelarrá.	9188 Río Omecillo en Bergüenda
Omecillo	ES091MSPF1703	Arroyo Omecillo desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Omecillo.	9188 Río Omecillo en Bergüenda
Omecillo	ES091MSPF1702	Río Omecillo desde el río Húmedo hasta el río Salado.	9188 Río Omecillo en Bergüenda
Omecillo	ES091MSPF481	Río Omecillo desde su nacimiento hasta el río Húmedo (incluye río Nonagro).	9188 Río Omecillo en Bergüenda
Omecillo	ES091MSPF482	Río Húmedo desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Omecillo.	9188 Río Omecillo en Bergüenda
Oria	ES022MAR002650	Río de Salubita	C6Z1 Salubita
Oria	ES020MAR002501	Río Oria I	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002502	Río Oria II	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002510	Río Oria III	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002560	Río Aguntza I	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002540	Río Aguntza II	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002570	Río Zaldibia	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002642	Río Oria IV	C5Z1 Alegia
Oria	ES021MAR002581	Río Amezketa I	C5Z1 Alegia
Oria	ES021MAR002582	Río Amezketa II	C5Z1 Alegia
Oria	ES028MAR002661	Río Oria V	C5Z1 Alegia
Oria	ES020MAR002520	Río Estanda	C1Z2 Estanda
Oria	ES023MAR002591	Río Araxes II	C9Z1 Lasarte
Oria	ES026MAR002610	Río Berastegi	C9Z1 Lasarte
Oria	ES026MAR002670	Río Asteasu I	C9Z1 Lasarte
Oria	ES026MAR002680	Río Asteasun II	C9Z1 Lasarte
Oria	ES027MAR002630	Río Leitzaran I	C9Z1 Lasarte
Oria	ES027MAR002620	Río Leitzaran II	C9Z1 Lasarte
Oria	ES028MAR002662	Río Oria VI	C9Z1 Lasarte
Oria	ES111R029010	Iñurritza- A	C9Z1 Lasarte
Urola	ES111R034030	Altzolaratz- A	B2Z1 Aizarnazabal
Urola	ES111R034040	Larraondo- A	B2Z1 Aizarnazabal
Urola	ES111R030030	Urola- C	B2Z1 Aizarnazabal

U.H.	COD MASA DE AGUA RÍO	NOMBRE MASA DE AGUA RÍO	ESTACIÓN DE REFERENCIA
Urola	ES111R032010	Urola- D	B2Z1 Aizarnazabal
Urola	ES111R034010	Urola- E	B2Z1 Aizarnazabal
Urola	ES111R034020	Urola- F	B2Z1 Aizarnazabal
Urola	ES111R031010	Embalse Ibaieder	B1Z2 Ibai-eder
Urola	ES111R031020	Ibaieder- A	B1Z2 Ibai-eder
Urola	ES111R032020	Ibaieder- B	B1Z2 Ibai-eder
Urola	ES111R030040	Embalse Barrendiola	B1Z1 Aitzu
Urola	ES111R030010	Urola- A	B1Z1 Aitzu
Urola	ES111R030020	Urola- B	B1Z1 Aitzu
Urumea	ES018MAR002491	Río Urumea II	D2W1 Urumea
Urumea	ES018MAR002470	Río Urumea III	D2W1 Urumea
Urumea	ES018MAR002480	Río Landarbaso	D2W1 Urumea
Urumea	ES111R018010	Igara -A	D2W1 Urumea
Urumea	ES017MAR002450	Río Añarbe	D2W1 Urumea
Zadorra	ES091MSPF488	Río Urkiola desde su nacimiento hasta la cola del Embalse de Urrunaga (incluye ríos Iraurgi y Olaeta).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF837	Río Iriola desde su nacimiento hasta cola del Embalse de Urrunaga.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF487	Río Santa Engracia desde su nacimiento hasta la cola del Embalse de Urrunaga (incluye río Undabe).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF789	Río Albiña desde su nacimiento hasta la cola del Embalse de Albiña.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF490	Río Zayas desde su nacimiento hasta la estación de aforos número 221 de Larrinoa.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF241	Río Zadorra desde su nacimiento hasta la cola del Embalse de Ullibarri (incluye ríos Salbide y Etxebarri).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF486	Río Barrundia desde su nacimiento hasta la cola del Embalse de Ullibarri (incluye río Ugarana).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF244	Río Alegría desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Zadorra	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF2	Embalse de Urrunaga.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF5	Embalse de Albiña.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF790	Río Albiña desde la Presa de Albiña hasta la cola del Embalse de Urrunaga.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF7	Embalse de Ullibarri-Gamboa.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF243	Río Zadorra desde la Presa de Ullibarri-Gamboa hasta el río Alegría	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF247	Río Zadorra desde el río Alegría (inicio del tramo canalizado de Vitoria) hasta el río Zayas.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF248	Río Zayas desde la estación de aforos número 221 de Larrinoa hasta su desembocadura en el río Zadorra.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF249	Río Zadorra desde el río Zayas hasta las surgencias de Nanclares (incluye río Oka).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF405	Río Zadorra desde las surgencias de Nanclares hasta el río Ayuda.	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF406	Río Zadorra desde el río Ayuda hasta su desembocadura en el río Ebro (final del tramo modificado de Miranda de Ebro).	9074 Río Zadorra en Arce
Zadorra	ES091MSPF491	Río Ayuda desde su nacimiento hasta el río Molinar (incluye río Molinar).	9075 Río Ayuda en Berantevilla
Zadorra	ES091MSPF252	Río Ayuda desde el río Saraso hasta el río Rojo.	9075 Río Ayuda en Berantevilla
Zadorra	ES091MSPF253	Río Rojo desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Ayuda.	9075 Río Ayuda en Berantevilla

U.H.	COD MASA DE AGUA RÍO	NOMBRE MASA DE AGUA RÍO	ESTACIÓN DE REFERENCIA
Zadorra	ES091MSPF254	Río Ayuda desde el río Rojo hasta su desembocadura en el río Zadorra.	9075 Río Ayuda en Berantevilla

En el anejo IV se recogen los datos de caudal obtenidos, en las simulaciones realizadas en los puntos de interés.

### 3.5 PROLONGACIÓN DE LAS SERIES DE APORTACIONES NATURALES

El presente estudio se ha basado en la actualización de los modelos TETIS hasta septiembre de 2016, lo que ha permitido la obtención de series de aportaciones en régimen natural en cualquier punto de la red fluvial de la CAPV hasta dicha fecha. Sin embargo, con objeto de disponer de información actualizada para los trabajos del tercer ciclo de planificación hidrológica y, en particular, para la revisión del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental vigente, se ha visto la necesidad de actualizar los modelos TETIS elaborados. Por ello, el presente estudio ha sido completado con la actualización de los modelos TETIS hasta septiembre de 2018.

Para ello, se ha partido de los modelos recalibrados y validados hasta septiembre de 2016 y se han actualizado los mismos incorporando los datos hidrometeorológicos necesarios hasta completar el periodo 1980-2018. Los resultados obtenidos permiten conocer las series de caudales en régimen natural en cualquier punto de la red fluvial de la CAPV hasta septiembre de 2018 y constituyen una de las principales bases a utilizar en los trabajos del tercer ciclo de planificación.

En el anejo IV se recogen las series prolongadas en los puntos de interés.

## 4 CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 4.1 CÁLCULO DE APORTACIONES POR UNIDAD HIDROLÓGICA

Entre las series de caudal generadas en los diferentes puntos de interés, están aquellas que se han simulado en los puntos más bajos de las principales masas de agua de las unidades hidrológicas. Para cada uno de estos puntos se ha determinado la precipitación media sobre la cuenca (PPT), la evapotranspiración real media (ETR) y la aportación superficial sobre el punto considerado (Apo). En todos los casos, se ha explicado, además, el reparto porcentual de la aportación superficial, distinguiendo entre los diferentes componentes del flujo:

- Escorrentía directa (ED)
- Flujo subsuperficial o interflujo (FS)
- Flujo base (FB)

En la siguiente tabla, se exponen los balances obtenidos en estas localizaciones. Estos valores son orientativos de cada UH.

Tabla 9. Resumen del balance hídrico por simulación para el periodo 1980-2018

	U. H.	Río	Área TETIS (km <sup>2</sup> )	PPT mm/año	ETR mm/año	Apo mm/año	Apo Hm <sup>3</sup> /año	ED %Qsim	FS %Qsim	FB %Qsim
VERTIENTE CANTÁBRICA	Karrantza	Río Asón II	97.75	1213	540	678	66	58.63	33.72	7.65
	Agüera	Río Agüera I	53.00	1524	622	904	48	58.07	32.16	9.77
	Barbadun	Barbadun-B	103.50	1235	600	638	66	55.95	36.40	7.66
	Ibaizabal	Ibaizabal IV	1011.0	1368	610	760	769	70.11	13.96	15.93
	Butroe	Butroe-B	160.25	1419	606	813	130	84.77	8.21	7.02
	Oka	Oka-A	34.00	1536	625	913	31	57.66	21.95	20.39
	Lea	Lea-A	73.25	1555	608	947	69	71.51	15.25	13.24
	Artibai	Artibai-A	106.75	1581	712	868	93	75.79	18.45	5.77
	Deba	Deba-D	486.75	1473	687	788	384	44.15	41.45	14.40
	Urola	Urola-F	312.5	1454	691	768	240	33.77	41.14	25.09
	Oria	Oria VI	809.25	1533	662	872	705	15.97	50.95	33.08
	Urumea	Urumea III	243.5	2173	624	1550	378	12.30	62.62	25.07
	Oiartzun	Oiartzun-A	69.00	1975	676	1296	89	29.57	28.86	41.57
Bidasoa	Jaizubia-A	12.50	1908	540	1366	17	64.31	0.03	35.67	
V. MEDITERRÁNEA	Omecillo	Omecillo (ES091MSPF236)	336.75	816	565	251	85	2.69	96.72	0.59
	Baia	Baia (ES091MSPF240)	308.50	1069	497	571	176	25.35	71.87	2.77
	Zadorra	Zadorra (ES091MSPF406)	1359.3	1150	482	643	87	60.71	26.39	12.91
	Inglares	Inglares (ES091MSPF255)	98.50	753	495	257	25	15.90	13.99	70.11
	Arakil	Arakil (ES091MSPF549)	72.75	1024	563	460	34	45.59	46.64	7.78
	Ega	Ega (ES091MSPF1742)	373.0	829	528	300	112	56.12	31.37	12.53

La división climática de la CAPV entre la vertiente atlántica y la mediterránea queda de manifiesto en la tabla anterior. Los flujos en las UH que vierten al mar Cantábrico son mayores que los de la vertiente Mediterránea, presentando valores promedios de aportación específica de 940 mm/año y 414 mm/año respectivamente. Para todas las masas de agua analizadas se alcanza una aportación específica de alrededor de 780 mm/año.

Cabe mencionar que en la tabla anterior únicamente se representan los flujos específicos de las principales masas de agua de cada unidad hidrológica, por lo que son, con carácter general, los que presentan mayores aportaciones específicas. Por lo tanto, es necesario considerar el carácter meramente orientativo de los citados valores.

## **4.2 CONCLUSIONES OBTENIDAS EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN**

Los criterios de ajuste de la calibración se han basado, por un lado, en el balance hídrico anual, y por otro, en el ajuste a las condiciones de estiajes de los hidrogramas, teniendo en cuenta la importancia capital de estas condiciones para la extracción de recursos, el cumplimiento del estado químico de las masas de aguas y otros.

Las calibraciones en general han dado resultados satisfactorios, permitiendo reproducir los caudales naturales en las estaciones de aforo. El valor medio del índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE) en los diferentes modelos realizados, se clasifica como bueno (0.71).

Las principales dificultades encontradas en la calibración de los modelos, tienen que ver con el tipo de información que emplea el modelo, con su calidad y su proceso de obtención, es así como con la precipitación y el caudal los principales elementos generadores de incertidumbre.

Respecto a la precipitación, el modelo realiza la interpolación de la lluvia mediante la metodología del inverso de la distancia al cuadrado, permitiendo elegir el número de estaciones cercanas para realizar el cálculo. De esta forma, el número de pluviómetros y su ubicación son factores importantes a la hora de estimar la cantidad de lluvia. Algunas UHs cuentan con una o muy pocas estaciones, lo que puede condicionar la cantidad de lluvia generada. Aumentar el número de estaciones cercanas permitiría conseguir una distribución espacial de la lluvia más uniforme, sin cambios bruscos, que representaría mejor el comportamiento real de la lluvia dentro de la cuenca.

Respecto a los datos de caudal, se cuenta con estaciones de aforo en régimen natural y estaciones de aforo restituidas a régimen natural. Los trabajos de restitución, en algunas ocasiones, no han conseguido estabilizar la heterogeneidad de los caudales en aguas bajas, lo que ha llevado a que el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE) ofrezca peores resultados de los esperados. Ocurre también que, los caudales en algunas estaciones de aforo en régimen natural, presentan mucha variabilidad durante los periodos de estiaje y valores muy bajos, lo que hace que el índice NSE tampoco llegue a ser bueno.

Otro factor a tener en cuenta para obtener buenos resultados en la calibración de un modelo, es el tamaño de la cuenca. En cuencas muy pequeñas, el error en los mapas de parámetros iniciales puede ser importante y conducir a peores resultados y en cuencas por encima de los 100 km<sup>2</sup> el resultado esperable será muy bueno.

## **4.3 CONCLUSIONES GENERALES**

En este trabajo se ha conseguido ampliar las series de recursos naturales diarios en toda la red fluvial de la CAPV hasta el año hidrológico 2017/2018. Para ello se han mejorado y actualizado los modelos TETIS disponibles.

Se ha conseguido ajustar bastante bien los caudales simulados con los observados en épocas de estiaje, para las diferentes estaciones de aforo contempladas en el estudio.



**indra**  
At the core

