

Estimación de los recursos hídricos renovables totales anuales e identificación de sucesos extremos a partir de la red Eionet-Water Quantity

LARA INCIO CABALLERO (*) y CONCEPCIÓN MARCUELLO OLONA (**)

RESUMEN La red Eionet-Water de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) tiene como objeto la recopilación de datos relativos a la cantidad y calidad de las aguas continentales y marinas en los países miembros de la AEMA, a través de sus respectivas instituciones públicas, con la finalidad de poder elaborar informes sobre el estado y la tendencia de la calidad y cantidad de las aguas, así como de evaluar el efecto de las políticas europeas, y en particular las medioambientales, sobre estos. Eionet-Water Quantity es uno de los componentes de la red, y está formada por una selección de estaciones de aforo y precipitación de los países miembros, atendiendo a unos criterios comunes previamente definidos. Los datos procedentes de las estaciones se recogen en una base de datos denominada Waterbase Water-Quantity (WBQ). El CEDEX, como socio del Centro Temático del Agua (CTA) de la AEMA se ha venido encargando, desde el año 1999, del diseño de Eionet-Water Quantity y del diseño, el mantenimiento y la actualización de la base de datos WBQ. En este artículo se presentan los resultados recopilados por Eionet-Water Quantity hasta el año 2005, y se muestra la utilización de los mismos para la estimación de los recursos hídricos renovables totales en cada año y para la identificación y cuantificación de sucesos extremos (avenidas y sequías) en los países europeos.

ESTIMATION OF THE TOTAL ANNUAL RENEWABLE FRESHWATER RESOURCES AND IDENTIFICATION OF EXTREME EVENTS USING EIONET-WATER QUANTITY DATA

ABSTRACT *Eionet-Water is the European Environment Agency's network that aims at collecting data in relation with the quality and quantity of the inland and marine waters across Europe, through the public institutions of the country members of the European Environment Agency (EEA), in order to evaluate the status and trend of the quality and quantity of waters and to assess the effectiveness of European policy, and in particular the environmental policy, on them. Eionet-Water Quantity is one of the network components that consist of a selection of raingages and gauging stations in the member countries, according to previously defined common criteria. The Eionet-Water Quantity data are held in a database called Waterbase Quantity (WBQ). CEDEX, as a partner of the EEA European Topic Centre on Water (ETC/Water), has been dealing with the network design, and the database design, maintenance and updating since 1999. This paper summarises the data collected by Eionet-Water Quantity up to 2005 and shows how to use them for the estimation of the total annual renewable freshwater resources and for the identification and quantification of extreme events (floods and droughts) in the European countries.*

Palabras clave: Eionet-Water, Waterbase Water-Quantity, Índice de Explotación del Agua, Aportación media anual, Recurso hídrico renovable total.

1. EIONET-WATER QUANTITY Y WATERBASE-QUANTITY

Waterbase es el nombre genérico que se les da a las bases de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en las que se registra información sobre el estado y la calidad de

los ríos, los lagos, las masas de agua subterránea y las aguas de transición, costeras y marinas en Europa además de recoger datos sobre la cantidad de los recursos hídricos a nivel europeo. En las bases de datos se recopilan series temporales validadas y de carácter relevante para la toma de decisiones que son proporcionadas por los países miembros de la AEMA mediante el proceso conocido como Eionet-Water (antes conocido como Eurowaternet). Consiste en una selección de estaciones hecha a partir de las redes nacionales de medida que representen las características físicas de las masas de agua y las presiones que potencialmente podrían afectar la calidad de las

(*) CEDEX, Personal investigador, Centro de Estudios Hidrográficos, Paseo Bajo Virgen del Puerto 3, 28005 Madrid.

(**) CEDEX, Directora de Programa, Centro de Estudios Hidrográficos, Paseo Bajo Virgen del Puerto 3, 28005 Madrid.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

mismas. El valor añadido de estas bases de datos es que la información, al ser recogida mediante el proceso Eionet-Water, es comparable a nivel europeo. Esta información es utilizada para la producción de las denominadas “factsheets” u hojas de datos basadas en los indicadores de la AEMA.

La Waterbase Water-Quantity (WBQ) consiste en 2 tablas en las que se almacena información sobre las características físicas de las estaciones y las series temporales de datos asociadas a las mismas. Cada país selecciona las estaciones siguiendo las recomendaciones (Marcuello, C. y Menéndez, M., 2003) para permitir el análisis y la comparación de los datos entre los distintos países europeos. Hay 3 tipos diferentes de estaciones en la WBQ:

- Estaciones de precipitación – RGS (red de estaciones de precipitación).
- Estaciones de referencia – BGS (red de estaciones de referencia).
- Estaciones de flujo – FGS (red de estaciones de flujo).

La tabla de “Stations” contiene las características físicas de la red de medida de Eionet-Water Quantity como son las

coordenadas de las estaciones y la altitud en el caso de las estaciones de precipitación o el área de la cuenca vertiente o el nombre del río en el cual se ubica la estación en el caso de las estaciones de referencia o de flujo. La tabla de “QuantityWater” contiene las series temporales registradas por la red de estaciones de medida de Eionet-Water Quantity. Hay 5 tipos de datos registrados en la WBQ:

- Precipitación media anual (mm).
- Precipitación diaria máxima anual (mm).
- Caudal medio anual (m³/s).
- Caudal máximo anual (m³/s).
- Caudal anual excedido el 95% del tiempo (m³/s).

Mientras que los datos de precipitación siempre se asocian a las estaciones de precipitación, los de caudal pueden estar asociados tanto a las estaciones de referencia como a las de flujo.

Actualmente las siguientes estaciones e información asociada están registradas por país en la WBQ. (Tabla 1).

Es posible descargar las tablas de WBQ en el siguiente vínculo de la AEMA:

<http://dataservice.eionet.eu.int/dataservice/>

País	Número de RGS	Serie temporal	Número de BGS	Serie temporal	Número de FGS	Serie temporal
Austria	60	1971 - 2005	60	1960 - 2005	3	1992 - 2004
Bélgica	-	-	-	-	96	1976 - 2005
Bulgaria	66	2004 - 2005	52	2000 - 2005	26	2000 - 2005
Croacia	70	1960 - 2005	138	1960 - 2005	20	1960 - 2005
Dinamarca	419	1991 - 1998	8	1989 - 1999	26	1989 - 1999
Estonia	36	2001 - 2004	60	2001 - 2005	30	2001 - 2005
Finlandia	124	1988 - 2005	113	1989 - 2005	46	1989 - 2005
Alemania	-	-	46	1990 - 2000	301	1990 - 2004
Hungría	44	1990 - 2005	33	1990 - 2005	63	1990 - 2005
Irlanda	27	2003 - 2004	469	2003 - 2005	60	2003 - 2005
Italia	72	1960 - 2000	-	-	-	-
Latvia	10	2000 - 2005	9	2000 - 2005	17	2000 - 2005
Liechtenstein	-	-	-	-	1	1993 - 2003
Lituania	-	-	154	1993 - 2005	-	-
Luxemburgo	6	2003 - 2005	3	2003 - 2005	9	2003 - 2005
Rep. de Macedonia	12	1989 - 2005	12	1989 - 2005	6	1989 - 2005
Noruega	100	1990 - 2004	62	1960 - 2004	144	1960 - 2004
Serbia y Montenegro	54	2004 - 2005	309	2004 - 2005	54	2004 - 2005
Eslovaquia	30	1995 - 2005	27	1995 - 2005	33	1995 - 2005
Eslovenia	18	1961 - 2005	54	1991 - 2003	-	-
España	137	1854 - 2005	24	1912 - 2005	15	1914 - 2005
Suecia	24	1995 - 2005	48	1995 - 2005	-	-
Reino Unido	143	1961 - 2005	90	1883 - 2005	84	1883 - 2005

TABLA 1. Resumen de las estaciones y datos por país.

2. APLICACIÓN EWQ EN SIG

Con el propósito de facilitar el análisis de la información almacenada en la WBQ y a su vez de poder generar mapas y gráficos siguiendo el estilo de la AEMA, se ha desarrollado una aplicación denominada EWQ basada en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.2. El primer paso consiste en habilitar la conexión de las tablas de la WBQ al SIG. Una vez que la información de la Waterbase está disponible en la aplicación EWQ, una barra de herramientas denomi-

nada Eionet-Water Quantity (EWQ) es la que hace posible la representación y la consulta de los datos, la obtención de valores agregados de precipitación media anual (mm/año) o de aportación media anual (mm/año) a nivel nacional, el cálculo de los estadísticos de los datos y la generación de gráficos. La herramienta se puede descargar en <http://hercules.cedex.es/hidrologia/pub/proyectos/etcwater.htm>. En las figuras 1 y 2 se presentan algunos ejemplos del rango de posibilidades que permite la aplicación EWQ.

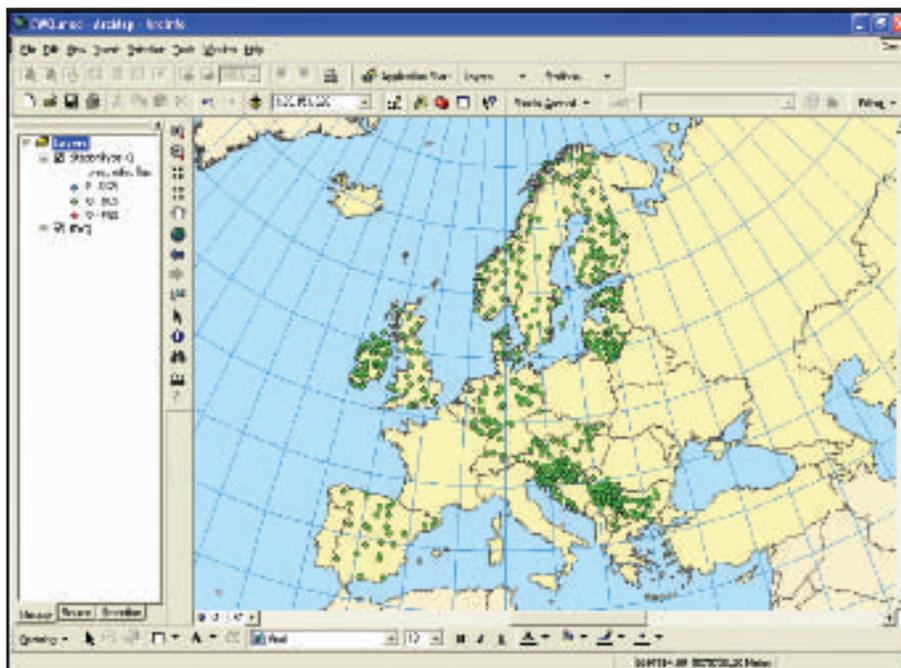


FIGURA 1. Red de estaciones de referencia.

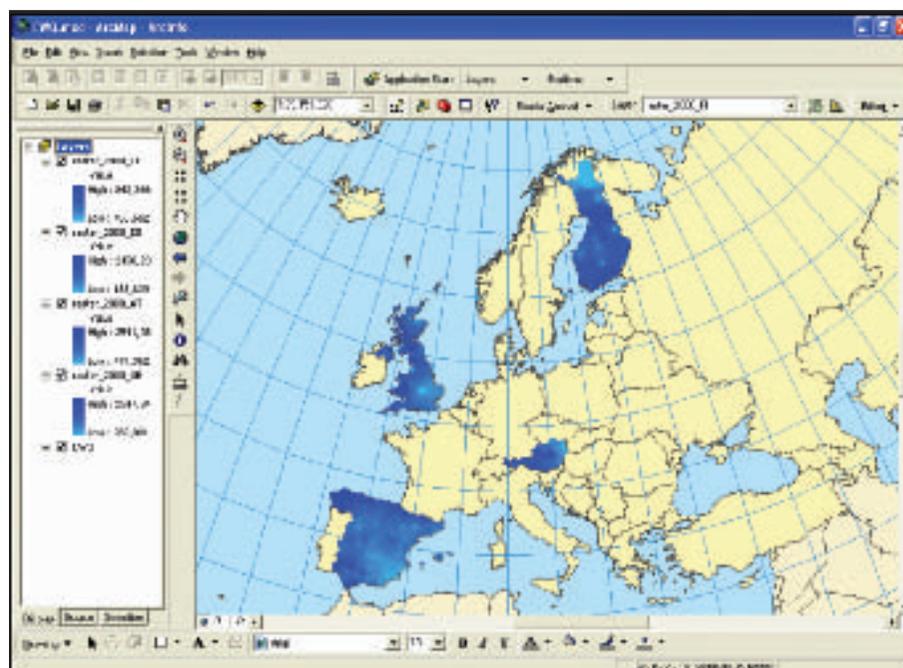


FIGURA 2. Precipitación media anual para el año 2000.

3. ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN DEL AGUA (IEA)

El seguimiento de la eficiencia, como indicador de sostenibilidad, en el uso del agua por parte de los diferentes sectores a nivel nacional, regional y local es clave para poder asegurar que las tasas de extracción del recurso hídrico sean sostenibles en el tiempo, objetivo marcado por el Sexto Programa de Acción en materia de Medio Ambiente de la Unión Europea (2001-2010).

El Uso de los Recursos Hídricos es uno de los Indicadores Principales (Core Set of Indicators: CSI018) que la AEMA plantea con la finalidad de reflejar si la abstracción de agua es llevada a cabo de manera sostenible. Su cálculo parte del Índice de Explotación del Agua (IEA), el cual se define como la relación existente entre la media anual de la abstracción total (por parte de todos los usos) del recurso hídrico y la media anual de los recursos hídricos renovables totales. Este índice calcula a nivel nacional y se expresa como porcentaje de tal manera que da una buena idea de las posibles presiones existentes sobre el total del recurso hídrico y, en el caso de haberlas, de la tendencia que éstas siguen. El IEA muestra de qué manera la abstracción total ejerce presión sobre el recurso hídrico e identifica aquellos países para los cuales la abstracción de agua supera la disponibilidad total del recurso y que, por tanto, están expuestos a estrés hídrico.

3.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EXPLOTACION DEL AGUA (IEA):

La metodología de cálculo del IEA consiste en:

- A partir de ESTAT se obtiene la última información disponible sobre la abstracción total anual para todos los usos (totABS) y sobre la media interanual del recurso hídrico renovable total (LTAA).
- Para cada país, por tanto, se obtienen los valores de totABS y LTAA. Estos valores son a veces contrastados con las fuentes nacionales.
- El IEA se calcula anualmente por país como la relación entre totABS y LTAA, y se expresa como porcentaje.

$$IEA = (totABS / LTAA) * 100$$

El umbral a partir del cual se determina si una región está sometida o no a estrés hídrico se fija en torno a un valor del IEA del 20% (Raskin et al., 1997). El estrés hídrico puede considerarse severo cuando el valor del IEA excede el 40%. En este caso la situación es de escasez de agua pero no es una escasez suficiente como para entrar en fase de alerta. Algunos expertos ponen en duda el umbral del 40%, argumentando que es demasiado bajo y que la escasez de agua comienza a ser severa a partir de un valor del IEA del 60%. Otros lo ratifican al afirmar que los ecosistemas acuáticos terrestres no pueden mantener su integridad si el agua es extraída de manera intensiva alcanzando valores del IEA del 40% (Alcamo et al., 2000).

4. COMO CALCULAR EL IEA USANDO LA APLICACIÓN EWQ

El IEA se calcula anualmente pero en la metodología propuesta se parte de la media interanual del recurso hídrico renovable total (LTAA). El IEA sería aún más preciso y representativo si, en lugar de la media interanual, se emplease la media anual del recurso hídrico renovable total para su cálculo. El recurso hídrico renovable total en un país puede ser fácilmente cuantificado como la diferencia entre el recurso hídrico generado internamente y las salidas de agua

del país ya sean hacia el mar o hacia los países colindantes. El recurso hídrico generado internamente se entiende como la aportación media anual del país y puede ser fácilmente calculado mediante la aplicación EWQ. Esta aplicación permite interpolar, según el procedimiento recogido en "Eionet-Water Quantity stations: current status and future possibilities" (Incio, L. y Marcuello, C., 2005) los valores de los caudales medios anuales registrados por la red de estaciones de referencia de la WBQ por países. En la Tabla 1 se pueden identificar los países para los cuales hay datos de caudal medio anual (m³/s) en la WBQ. Los datos de caudal medio anual en m³/s son transformados a aportación media anual en mm/año para poder calcular el valor medio anual agregado para todo el territorio nacional mediante técnicas de interpolación del SIG. La transformación de unidades se realiza automáticamente en la aplicación EWQ y la interpolación se lleva a cabo mediante la técnica del inverso de la distancia al cuadrado teniendo en cuenta un número prefijado de estaciones vecinas igual a 3. Esta condición en el cálculo implica que un mínimo de 4 estaciones sean necesarias para poder calcular el valor medio anual agregado para todo el territorio nacional. A continuación se presentan los valores de aportaciones medias anuales en mm/año, para los países con disponibilidad de datos, calculados mediante la aplicación EWQ.

Siguiendo las recomendaciones del informe "Eionet-Water Quantity stations: current status and future possibilities" (Incio, L. y Marcuello, C., 2005), los datos de ESTAT se usan como referencia para validar los resultados obtenidos por la aplicación EWQ. Los datos son contrastados mediante el cálculo de un ratio o rflow que compara el valor publicado por ESTAT y el mismo valor obtenido como resultado de la aplicación EWQ.

$$rflow = \frac{\text{Aportación media anual publicada en ESTAT (mm/año)}}{\text{Aportación media anual obtenida por la aplicación EWQ (mm/año)}}$$

El rflow se calcula anualmente para cada país y a partir de los rflows anuales se calcula el rflow interanual. Si el valor del rflow interanual está entre 0.95 y 1.06, se considera como válido el resultado calculado por la aplicación EWQ. En el caso de que los valores medios anuales obtenidos por la aplicación aparezcan sistemáticamente desviados se considera que es debido a un error sistemático que no es consecuencia de la selección de estaciones y los valores son ajustados mediante el rflow interanual.

Los rflows interanuales obtenidos para los países analizados se ven en la tabla 3.

La aplicación EWQ permite modificar los cálculos de tal forma que se pueden obtener los resultados modificados por el rflow interanual. En la tabla 4 se presentan los resultados de la aplicación modificados (para cada país con el rflow interanual que le corresponde).

España y Finlandia no están incluidas en esta tabla ya que los resultados originales se consideran válidos y por tanto no hay necesidad de modificarlos con el rflow interanual.

Los nuevos resultados, corregidos con el factor rflow, se comparan de nuevo con los datos de ESTAT con el fin de detectar posibles diferencias significativas. El análisis consiste en la obtención de un ratio, similar al rflow, por comparación de ambos valores.

$$ratio = \frac{\text{Aportación media anual publicada en ESTAT (mm/año)}}{\text{Aportación media anual obtenida por la aplicación EWQ modificada por el rflow interanual (mm/año)}}$$

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	292,26	366,59	424,75	349,75	321,41	360,41	315,16	304,42
Alemania	299,81	278,15	320,52	347,68	440,15	445,55	297,52	312,19
Hungría	45,34	66,97	50,77	40,41	58,27	71,01	104,96	59,99
Lituania	-	-	-	279,58	402,54	361,13	212,20	269,24
Rep. de Macedonia	87,66	216,40	110,08	89,54	106,66	164,81	345,02	194,16
Noruega	1651,54	1458,73	1589,20	1341,04	1337,93	1634,95	1158,83	1560,81
Eslovaquia	-	-	-	-	-	385,52	421,10	378,26
Eslovenia	-	1091,37	1070,39	897,01	895,43	1035,26	1199,17	848,68
España	152,67	226,04	180,32	173,19	158,24	148,35	369,08	251,24
Suecia	-	-	-	-	-	567,79	364,63	489,06
Reino Unido	899,41	755,09	875,49	822,88	930,00	778,69	618,06	683,64
País	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Estonia	-	-	-	319,50	260,90	224,66	361,21	288,83
Finlandia	427,01	320,25	405,53	320,88	258,02	239,45	377,66	363,79
Alemania	373,83	397,54	394,32	-	-	-	-	-
Hungría	81,46	126,71	66,30	48,56	44,64	602,40	54,93	79,09
Lituania	-	323,70	254,67	-	332,27	200,27	355,38	300,98
Rep. de Macedonia	198,59	261,95	182,02	78,46	180,92	-	-	259,26
Noruega	1383,40	1508,68	1678,20	1372,40	1321,58	1339,14	1271,10	-
Eslovaquia	372,36	391,78	380,37	406,51	392,15	223,28	371,76	363,22
Eslovenia	1003,26	955,35	1039,07	1020,11	862,49	623,20	-	-
España	216,30	156,50	200,16	370,79	302,75	371,92	314,23	381,19
Suecia	636,04	523,87	662,96	565,30	447,57	373,75	495,47	-
Reino Unido	952,49	940,26	1055,90	758,49	931,63	563,79	859,34	773,96

TABLA 2. Valores de escorrentía media anual (mm/año) calculados por país y año mediante la aplicación EWQ.

País	rflow	País	rflow
Estonia	0,92	Noruega	0,80
Finlandia	0,96	Eslovaquia	0,72
Alemania	0,92	Eslovenia	0,93
Hungría	0,82	España	1,03
Lituania	0,51	Suecia	0,75
Rep. de Macedonia	0,25	Reino Unido	0,79

TABLA 3. Países y valores de rflow.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-
Alemania	275,47	255,57	294,50	319,46	404,42	409,38	273,37	286,85
Hungría	37,02	54,68	41,45	32,99	47,57	57,98	85,69	48,98
Lituania	-	-	-	142,79	205,59	184,44	108,38	137,51
Rep. de Macedonia	22,20	54,81	27,88	22,68	27,01	41,74	87,39	49,18
Noruega	1319,02	1165,03	1269,23	1071,03	1068,55	1305,77	925,51	1246,56
Eslovaquia	-	-	-	-	-	277,14	302,72	271,92
Eslovenia	-	1013,56	994,07	833,05	831,59	961,45	1113,67	788,17
Suecia	-	-	-	-	-	423,58	272,02	364,85
Reino Unido	712,32	598,02	693,38	651,71	736,55	616,72	489,50	541,44
País	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Estonia	-	-	-	294,59	240,56	207,15	333,05	266,31
Alemania	343,49	365,27	362,31	-	-	-	-	-
Hungría	66,51	103,45	54,13	39,65	36,45	491,82	44,85	64,57
Lituania	-	165,32	130,07	-	169,70	102,28	181,50	153,72
Rep. de Macedonia	50,30	66,35	46,10	19,87	45,82	-	-	65,66
Noruega	1104,83	1204,92	1340,29	1096,08	1055,49	1069,52	1015,14	-
Eslovaquia	267,68	281,64	273,44	292,23	281,91	160,51	267,25	261,11
Eslovenia	931,73	887,23	964,98	947,38	800,99	578,77	-	-
Suecia	474,50	390,82	494,58	421,72	333,90	278,82	369,63	-
Reino Unido	754,36	744,68	836,28	600,72	737,84	446,52	680,59	612,97

TABLA 4. Valores de escorrentía media anual (mm/año) modificados por rflow calculados por país y año.

En las tablas 5 y 6, los valores de los nuevos ratios son representados gráficamente por unidad de tiempo para cada país. Los datos de Estonia y Reino Unido no pueden ser analizados ya que sólo se dispone de 2 y 3 años con dato para poder comparar. Para el resto de países, los valores del ratio están en torno a la unidad lo cual quiere decir que los resultados modificados por el rflow interanual son válidos. Las excepciones son Hungría y Lituania para las cuales los valores del ratio difieren significativamente de la unidad. En la tabla 6 se muestran los valores del rflow de España y Finlandia que ratifican la validez de los resultados iniciales para estos países.

El análisis refleja que, para la mayoría de los países con información disponible, la aportación media anual se puede obtener con la aplicación EWQ aplicando el rflow interanual cuando sea necesario.

No se puede decir lo mismo de los valores de entradas de agua en un país provenientes de los países colindantes. Por el momento este dato ha de ser obtenido de ESTAT debido a la falta de información y a la incorrecta selección de estaciones de flujo en WBQ (Incio, L. y Marcuello, C., 2005).

Para este estudio, cuando la aportación media anual se obtiene de la WBQ para un país y en ESTAT no están disponibles los caudales de entrada al mismo país en ese año, se utiliza el valor interanual de los caudales de entrada al país publicado en ESTAT. En la tabla 7 se presentan los caudales de entrada (mm/año) obtenidos de ESTAT.

Una vez que se dispone de la aportación media anual (mm/año) y de los caudales de entrada procedentes de otros países (mm/año), es posible calcular el recurso hídrico renovable total para cada país y año.

En la tabla 8 se presentan para los años 1990 – 2005 y para los países con disponibilidad de datos los valores del recurso hídrico renovable total.

5. EL SEGUIMIENTO DE AVENIDAS CON EWQ

Con la finalidad de registrar las avenidas ocurridas en los ríos europeos y de comparar las características de las mismas, se incluye en WBQ la información relativa a los caudales y las precipitaciones máximas registradas anuales en 24 horas, y la fecha correspondiente. La magnitud relativa de las avenidas

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

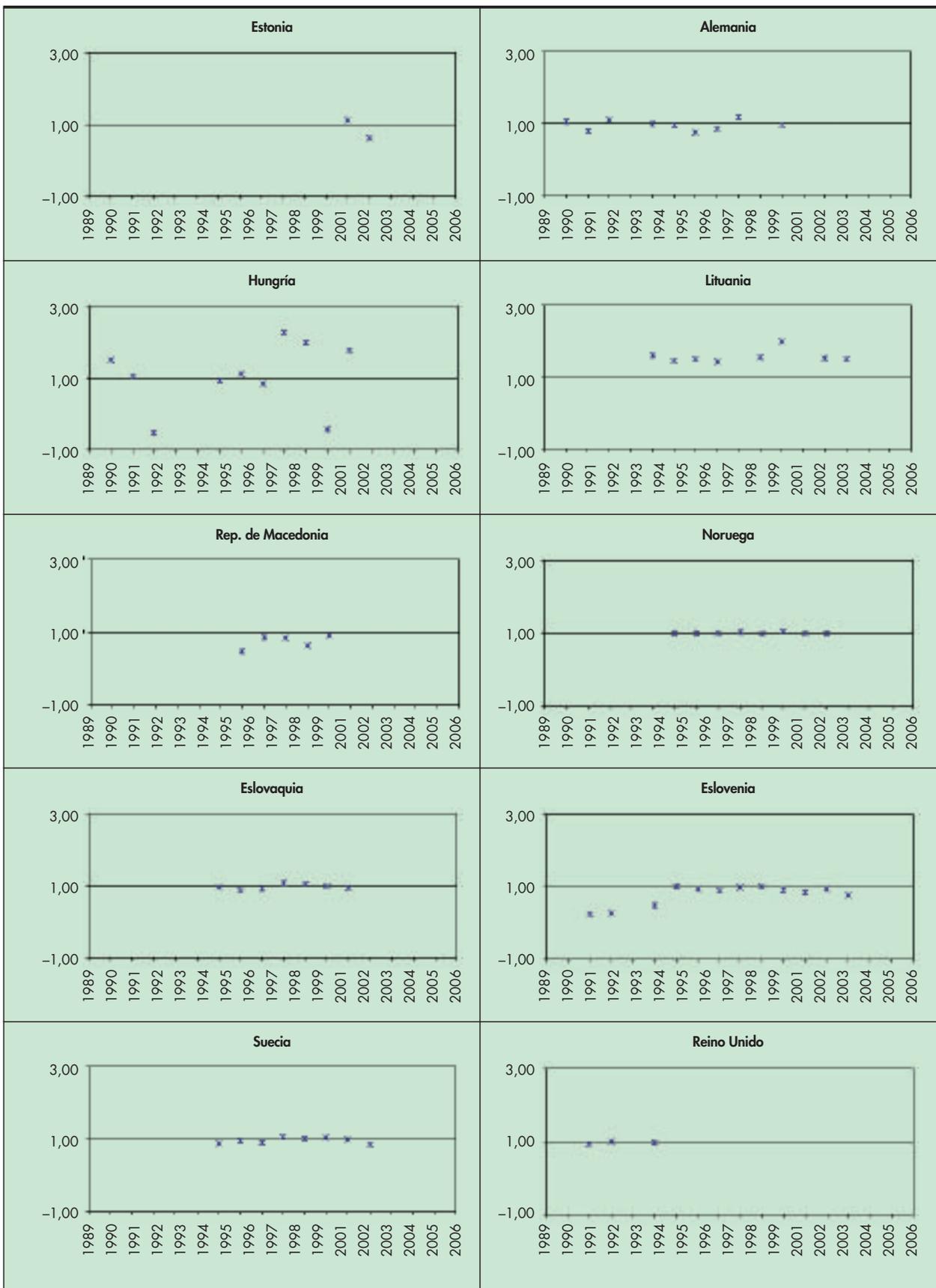


TABLA 5. Ratios obtenidos de la comparación de los valores de ESTAT y los obtenidos por la aplicación EWQ modificados por rflow.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

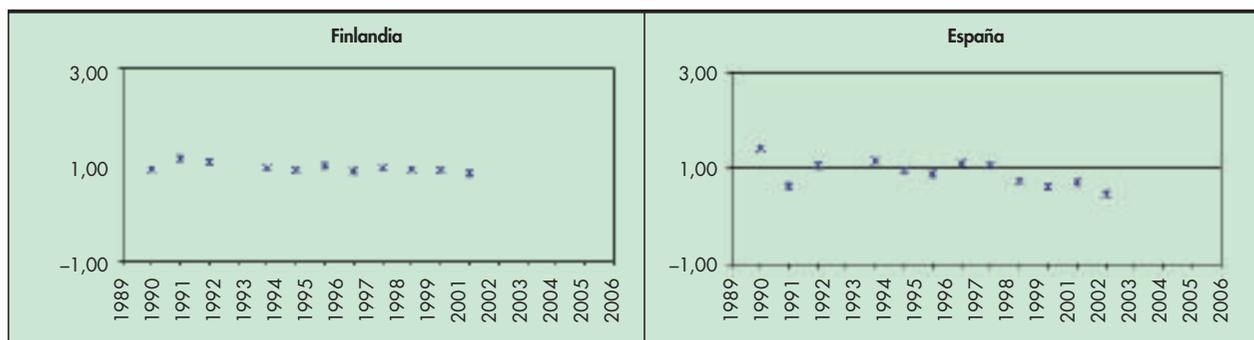


TABLA 6. Ratios obtenidos de la comparación de los valores de ESTAT y los obtenidos por la aplicación EWQ sin ser modificados por rflow.

Pais	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Estonia	37,07	200,54	0,28	0,22	0,28	27,36	14,94	22,70
Finlandia	7,00	10,64	10,64	10,08	10,36	11,20	9,52	10,08
Alemania	170,86	159,65	184,86	196,07	207,27	246,48	176,46	190,46
Hungría	204,75	221,88	277,97	261,32	249,92	330,51	308,10	309,22
Lituania	27,54	23,68	20,16	24,52	32,87	23,75	23,12	19,86
Rep. de Macedonia	243,50	243,50	243,50	243,50	243,50	243,50	263,80	263,80
Noruega	38,28	38,28	38,28	38,28	38,28	41,31	39,85	40,62
Eslovaquia	156,22	162,45	177,10	173,73	170,92	209,26	183,36	186,24
Eslovenia	31,79	40,22	37,86	35,38	33,62	32,54	41,10	32,52
España	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suecia*	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Reino Unido	8,69	6,23	7,84	6,51	6,31	7,17	7,18	6,01
Pais	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Estonia	32,60	30,08	20,77	23,48	21,74	200,54	200,54	200,54
Finlandia	12,60	9,24	11,20	9,80	9,46	9,46	9,46	9,46
Alemania	184,86	198,87	198,87	198,87	198,87	198,87	198,87	198,87
Hungría	325,75	362,07	347,23	322,95	1225,41	1225,41	1225,41	1225,41
Lituania	28,14	27,93	20,68	19,08	21,55	19,11	137,67	137,67
Rep. de Macedonia	263,80	263,80	263,80	243,50	243,50	243,50	243,50	243,50
Noruega	45,22	45,40	53,27	39,81	34,51	38,28	38,28	38,28
Eslovaquia	179,96	216,20	218,47	215,20	239,15	147,40	1371,51	1371,51
Eslovenia	34,31	38,50	39,70	32,09	31,98	665,71	665,71	665,71
España	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suecia*	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Reino Unido	8,89	8,82	9,12	5,36	9,95	11,30	11,30	11,30

TABLA 7. Datos de caudales de entrada obtenidos de ESTAT. En rojo aparecen las medias interanuales empleadas para rellenar huecos en las series.
*El valor medio de Suecia no está disponible en ESTAT así que ha sido obtenido del informe "inland waters in the european union" (MMA, 2004).

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	299,26	377,23	435,39	359,82	331,77	371,61	324,68	314,5
Alemania	446,33	415,23	479,36	515,52	611,69	655,87	449,83	477,31
Hungría	241,77	276,56	319,42	294,31	297,49	388,49	393,80	358,20
Lituania	-	-	-	167,31	238,45	208,19	131,50	157,37
Rep. de Macedonia	265,70	298,30	271,38	266,17	270,51	285,24	351,18	312,97
Noruega	1357,30	1203,31	1307,51	1109,32	1106,83	1347,08	965,36	1287,17
Eslovaquia	-	-	-	-	-	486,40	486,08	458,16
Eslovenia	-	1053,77	1031,93	868,43	865,20	993,99	1154,77	820,69
España	152,67	226,04	180,32	173,19	158,24	148,35	369,08	251,24
Suecia	-	-	-	-	-	443,58	292,02	384,85
Reino Unido	721,02	604,25	701,22	658,22	742,86	623,89	496,68	547,44
País	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Estonia	-	-	-	318,07	262,29	407,69	533,59	466,86
Finlandia	439,61	329,49	416,73	330,68	267,48	248,91	387,12	373,25
Alemania	528,35	564,14	561,18	-	-	-	-	-
Hungría	392,26	465,53	401,36	362,59	1261,86	1717,24	1270,26	1289,98
Lituania	-	193,25	150,75	-	191,25	121,39	319,17	291,39
Rep. de Macedonia	314,09	330,14	309,90	263,37	289,32	-	-	309,16
Noruega	1150,05	1250,33	1393,56	1135,89	1090,00	1107,80	1053,43	-
Eslovaquia	447,64	497,84	491,91	507,43	521,06	307,91	1638,76	1632,62
Eslovenia	966,04	925,74	1004,68	979,46	832,98	1244,48	-	-
España	216,30	156,50	200,16	370,79	302,75	371,92	314,23	381,19
Suecia	494,50	410,82	514,58	441,72	353,90	298,82	389,63	-
Reino Unido	763,25	753,49	845,40	606,08	747,79	457,81	691,89	624,27

TABLA 8. Recursos hídricos renovables totales (mm/año).

se puede realizar mediante la comparación de la relación Q_{max}/Q_{med} , definido aquí como *intensidad de la avenida*, en cada una de las estaciones, siendo Q_{max} el máximo caudal anual en 24 horas, y Q_{med} la media interanual del caudal medio registrado en dicha estación. Las fechas en las que se han producido las avenidas permiten realizar un seguimiento de las mismas a lo largo de cada río, con la consiguiente estimación de su extensión geográfica. Una de las principales utilidades derivadas del análisis de los caudales es la de la evaluación de los distintos tipos de avenidas que suceden en los distintos tipos de ríos en Europa. Por su parte, el registro y el análisis de las máximas precipitaciones acaecidas en las fechas donde se han producido las avenidas permite obtener información sobre los mecanismos generadores de las mismas.

Las avenidas más catastróficas acontecidas en Europa, según los datos registrados en EWQ, son las que ocurrieron en Rin en 1995, el Elba en 2002 y en el Danubio en 2002 y 2004. Desafortunadamente, las últimas avenidas de 2005 y 2006 no están registradas en la última actualización de EWQ en estos ríos.

Del análisis de los datos de EWQ se puede deducir que la intensidad de las avenidas en los ríos europeos varía en función de dos factores fundamentalmente: el tipo de río y la superficie de la cuenca vertiente. La intensidad media de las avenidas ordinarias en los ríos europeos suele venir dada por relaciones $Q_{max}/Q_{med} \sim 2 - 3$, mientras que las avenidas extraordinarias tienen una intensidad tal que $Q_{max}/Q_{med} \sim 4 - 9$. Las estaciones de aforos de EWQ tienen una superficie

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY



FOTO 1. La estación de trenes de Dresde, sumergida por las saguas (Fuente: CBC News).

de cuenca asociada cuyo orden de magnitud varía entre dos y cuatro, lo que permite tener una buena relación entre la intensidad de las avenidas y la superficie de cuenca, siendo este factor de gran influencia en la variación de la intensidad. En los párrafos que siguen, se realiza una breve descripción de las avenidas registradas en las estaciones de EWQ.

5.1. LA AVENIDA DE AGOSTO DE 2002

Una de las riadas más impresionantes registradas en EWQ y que han tenido lugar últimamente es la acontecida en el río Elba y en el Danubio en el mes de agosto de 2002.

El Elba tiene un caudal medio interanual de unos 700 m³/s cerca de su desembocadura en la ciudad alemana de Hamburgo en la que se registraron caudales máximos de hasta 4400 m³/s en la estación de afloros de Schona el día 16, aguas arriba de la ciudad de Dresde, que resultó fuertemente dañada (ver Foto 1), en Torgau (estación DE_QA_501261) y en Wittenberg (estación DE_QA_501420) el día 18, lo que se traduce en una intensidad Q_{max}/Q_{med} de hasta 12, que resulta del todo

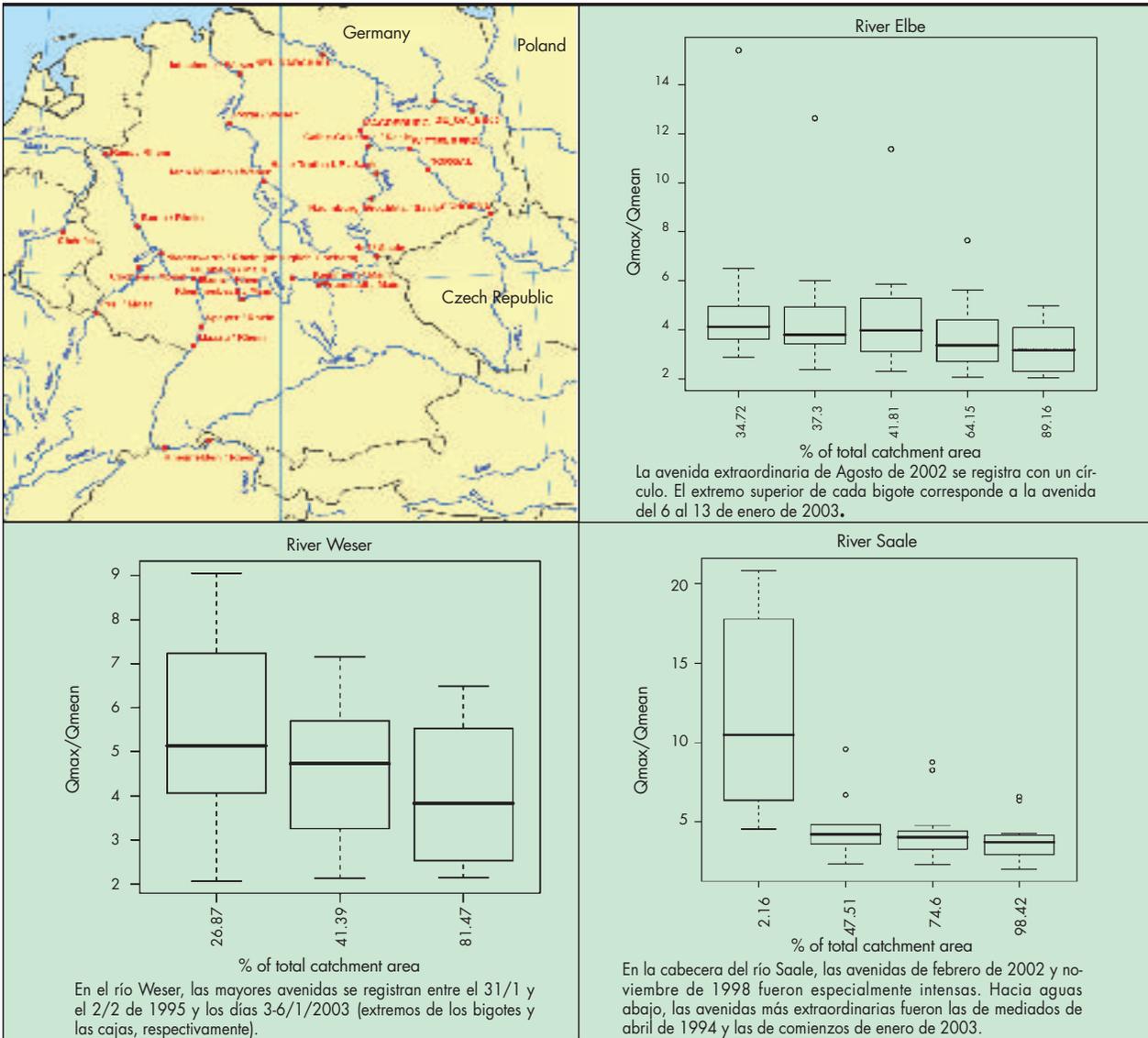


FIGURA 3. Mapa de las estaciones de EWQ con registros de máximo caudal anual en 24 horas en la cuenca del Elba y Weser.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

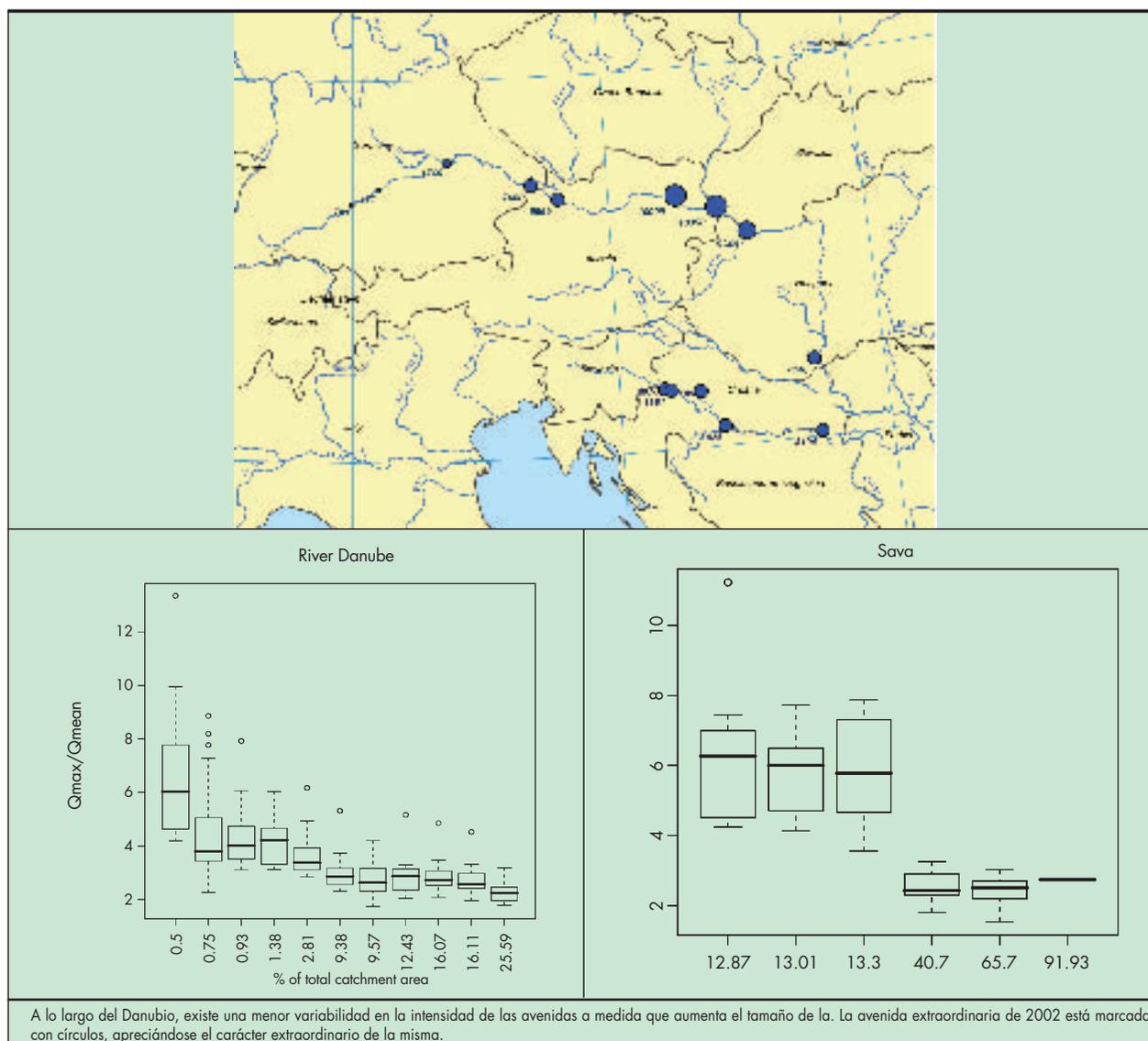


FIGURA 4. Mapa de las estaciones de EWQ con registros de máximo caudal anual en 24 horas en la cuenca del Danubio.

extraordinario. La Figura 3 muestra las estaciones de EWQ en la cuenca del Elba, así como los gráficos de cajas y bigotes para las intensidades de las avenidas correspondientes a dichas estaciones, representadas como el porcentaje del área total de la cuenca del río. Éste es un factor que claramente distingue la intensidad de las avenidas, como muestran los gráficos de cajas y bigotes, en los que se aprecia la disminución de la intensidad media hacia aguas abajo, poniendo de manifiesto la mayor variabilidad de las respuestas de las cuencas de cabecera.

Las mayores avenidas en el Danubio se caracterizan por tener una intensidad entre 5 y 6. Las series temporales de las estaciones de aforos de EWQ en la cuenca del Danubio muestran dos grandes avenidas, la del 22-28 de mayo de 1999 y la de agosto de 2002, seguida por la ocurrida a finales de julio de 1997. En las estaciones con datos hasta el 2005, ésta se registra entre las mayores. Es de esperar que en el ejercicio de actualización de datos en 2007, tanto la avenida del 2005 como la devastadora de 2006 queden reflejadas.

La avenida de agosto de 2002 en el Danubio fue de un carácter extremo por la magnitud de los caudales registrados en todas las estaciones EWQ, como muestra la Figura 4. En la estación alemana de Achleiten (DE_QA_10094006) se registraron 7680 m³/s, una vez y media el caudal máximo de 1999 y duplicando el de 1997. Aguas abajo, la estación austriaca de Kornenburg (AT_QA_207241) registró la asombrosa cantidad de 10009 m³/s el día 14. A medida que la avenida pasaba por Eslovaquia, el caudal máximo alcanzó los 10390 m³/s el día 15, que es el doble del alcanzado en 1999. Cuando la avenida llega a Hungría, el caudal era de 9240 m³/s y se amortiguó a los, aún extraordinarios, 7440 m³/s al salir del país.

La avenida de agosto de 2002 tiene su origen en una racha de mal tiempo que afectó al centro y sur de Europa. Durante los primeros días de agosto, el centro de Europa se encontraba bajo la influencia de unas condiciones meteorológicas que propiciaban la regeneración de sistemas convectivos que se mantenían quasi estacionarios, favorecidos por la orografía

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

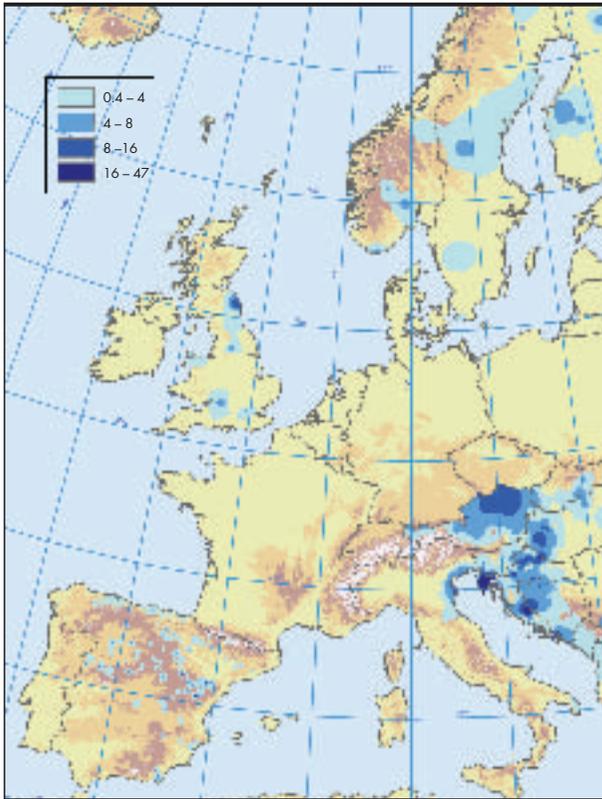


FIGURA 5. Impacto de la borrasca de agosto de 2002, como relación porcentual entre el valor de la máxima precipitación diaria de 2002 en los pluviómetros de EWQ que la registraron en el mes de agosto, respecto de la lluvia media interanual de sus respectivas series temporales.

de los Alpes. En el noroeste de Austria se registraron unas precipitaciones particularmente altas, que ocasionaron unas avenidas de carácter extraordinario en esta zona. En su estación final, acabó desarrollándose una gran borrasca sobre el

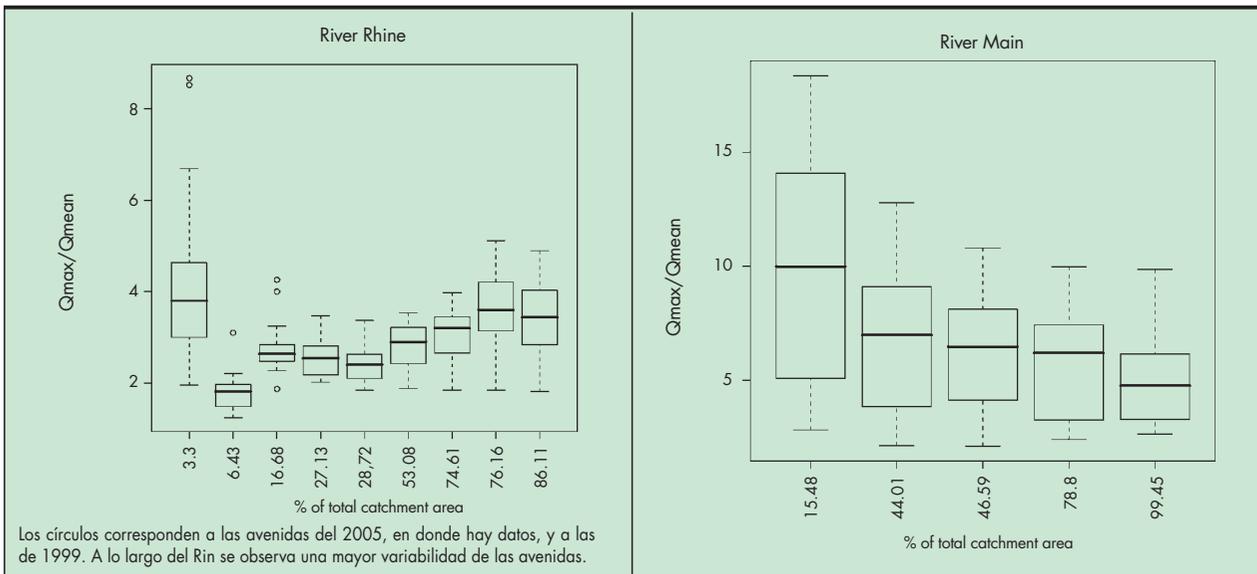
Mediterráneo (James et al., 2004), originando fuertes lluvias a final de agosto, que propiciaron importantes inundaciones en el sur de Europa, incluida España.

Las fuertes lluvias de agosto de 2002 resultaron en las máximas anuales de dicho año en más de 150 estaciones pluviométricas españolas y en 72 pluviómetros de EWQ. Todas las estaciones pluviométricas de EWQ registran unos valores máximos diarios que suponen, en un gran porcentaje de casos, más del 10% de la lluvia media interanual de sus respectivas series, llegando incluso a superar el 20%, especialmente en la zona este de los Alpes (cabeceras del Elba y Danubio), la costa este del Mar Adriático, en la zona central de Inglaterra, en Suecia y Finlandia y en la parte nororiental de la Península Ibérica, y en las que las relaciones medias de lluvia máxima diaria respecto de la media interanual se encuentran entre 2 - 5 %. La Figura 5 muestra la extensión de la borrasca en agosto de 2002.

Sin embargo, resulta curioso comprobar que, a pesar de la gran avenida del Elba, en su afluente Saale, la avenida de agosto no fue la de mayor envergadura, puesto que en su cuenca no se registraron tan cuantiosas precipitaciones. Las mayores avenidas en el Saale se registran en los días 5 y 7 de enero de 2003 y en mitad de abril de 1994, en donde los caudales máximos son del orden de 8 veces el caudal medio del río, siendo de hasta 20 veces en zonas de cabecera. Por su parte, otro de los grandes ríos alemanes, el Weser, con una superficie de 48.800 km² y un caudal medio de 350 m³/s en su desembocadura en la estación EWQ de Instschede, registra las mayores avenidas en enero, en particular en los años 1995 y 2003.

5.2. LAS AVENIDAS EN EL RIN Y EL MAIN

Las dos avenidas de carácter extraordinario registradas en las estaciones de EWQ en el Rin son las acontecidas a finales de enero de 1995 y a mediados de mayo de 1999. Los caudales máximos diarios registrados en estas fechas alcanzaron los 10.000 m³/s, cinco veces el caudal medio. La Figura 6 muestra los gráficos de cajas y bigotes de las estaciones de EWQ en el Rin y el Main. La última estación de EWQ en el Rin se encuentra en Rees, en donde la cuenca vertiente es



Los círculos corresponden a las avenidas del 2005, en donde hay datos, y a las de 1999. A lo largo del Rin se observa una mayor variabilidad de las avenidas.

FIGURA 6. Gráficos de los caudales registrados en el Rin y el Main.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY



FIGURA 7. Avenidas acontecidas en el otoño de 2000 en Reino Unido y precipitaciones máximas diarias (mm) entre los meses de junio y noviembre. La magnitud de la avenida se representa según el porcentaje de veces que el caudal máximo registrado ha sido superado en la serie temporal.

de 159.300 km², con un caudal medio de 2.400 m³/s que fluye hacia Holanda. El gran tamaño de las cuencas vertientes a lo largo del Rin muestran caudales mayores de 1.000 m³/s aguas abajo de Maxau. Asimismo, el gran tamaño de cuenca hace que la intensidad de las avenidas se encuentre entre 3 y 4, lo que a su vez significa que las avenidas registran caudales máximos diarios de 3.500 - 4.500 m³/s. El río Main tiene un área de 27.142 km² en Raunheim, cerca de su confluencia con el Rin, resultando valores de $Q_{max}/Q_{med} \sim 5-7$, llegando a 10 - 12 en las mayores avenidas.

5.3. LAS AVENIDAS EN EL REINO UNIDO

La intensidad de las avenidas registradas en los ríos del Reino Unido varía entre 10 y 20, para cuencas menores de 500 km², siendo la relación $Q_{max}/Q_{med} \sim 5$ para las cuencas mayores de 3.000 km², con un conjunto de valores variados para las cuencas intermedias. El análisis de los tres mayores máximos del caudal máximo anual registrado en las estaciones de EWQ muestra que las fechas de ocurrencia son más frecuentes entre los meses de noviembre y enero. Del análisis de un período común para las estaciones de EWQ se identifican dos avenidas mayores que afectaron una extensa área, en enero de 2005 y en otoño de 2000. Ésta última se puede considerar la mayor avenida, tanto en términos de extensión (número de estaciones que registran el máximo caudal en un mismo período de

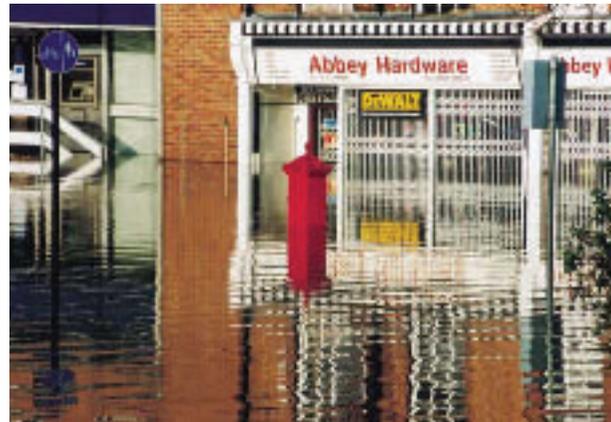


FOTO 2. Las inundaciones de otoño de 2000. Imagen de Shrewsbury (Fuente: UK Environment Agency).

tiempo) como en términos de magnitud (número de estaciones que registran el primer o segundo máximo en las series desde el año 1980).

El año 2000 fue bastante activo en Reino Unido, ya que comenzó inundando algunas áreas de Escocia y del río Eden en enero, aunque no están registradas entre los tres mayores máximos. Sin embargo, los peores caudales se registraron entre los últimos días de octubre y la segunda semana de noviembre, en Irlanda del Norte, Gales e Inglaterra, en donde se alcanzaron caudales superados entre un 2 y un 5% de las veces a toda la serie temporal.

La Figura 7 muestra la magnitud y extensión de las inundaciones del otoño del 2000. Estas inundaciones fueron consecuencia de una serie de altas precipitaciones acontecidas a comienzos del mes de noviembre, que cayeron tras un verano lluvioso en esta zona. En el 50% de las estaciones pluviométricas de EWQ se registraron los máximos de este año durante estos meses, dando lugar a que los caudales crecieran de una manera muy rápida, dada la alta humedad contenida en el suelo. En la Figura 7 se muestra una interpolación de las máximas lluvias registradas en estos meses.

6. CONCLUSIONES

Este artículo pretende resaltar la utilidad del flujo de datos de Eionet - Water Quantity de la AEMA para la descripción de aspectos relacionados con los recursos renovables de los países europeos, tal como la estimación de la cantidad de los mismos y su evolución anual, así como la identificación y cuantificación de las avenidas.

En cuanto a la estimación del recurso renovable, el cálculo del rflow interanual permite evaluar si las estaciones se seleccionaron según las recomendaciones; así como la modificación de los valores de aportación media anual según ESTAT (siempre y cuando los valores del rflow interanual estén dentro de un rango razonable que podría ser ampliado y abarcar de 0.9 a 1.1). Durante la elaboración de este artículo se han detectado huecos en las series temporales de ESTAT. Estos huecos podrían completarse fácilmente con datos de WBQ usando la aplicación EWQ como se ha visto. En relación al cálculo de los caudales de entrada en un país procedentes de países colindantes, las siguientes mejoras deberían ser aplicadas: la selección de la red de estaciones de flujo de Eionet-Water Quantity debería ajustarse a lo que se propone en las recomendaciones, cada estación de flujo debe-

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

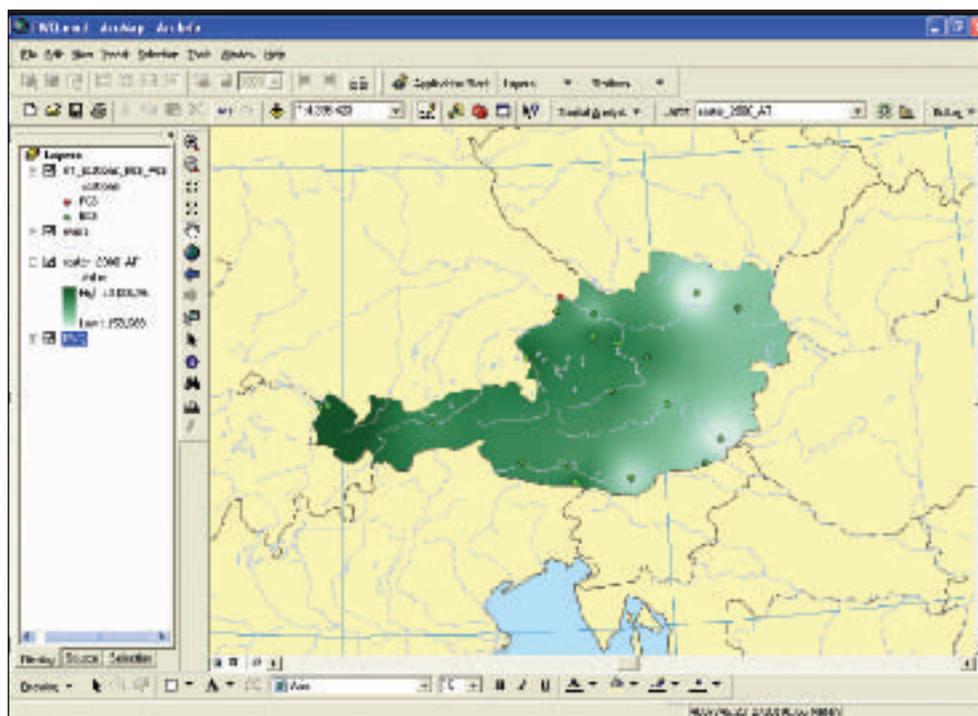


FIGURA 8. Aplicación EWQ. Estaciones de referencia (verde) y de flujo (rojo) de Austria y valores interpolados de escorrentía para el año 2000.

ría estar asociada al país al cual vierte sus aguas además de disponer de una serie temporal de registros para poder realizar los cálculos. A continuación se presenta un ejemplo sobre cómo obtener los recursos hídricos renovables totales anuales para un país sin datos en ESTAT pero con datos en WBQ. El país seleccionado es Austria ya que cumple con los requisitos mencionados.

Los resultados obtenidos para Austria se presentan en la Figura 8 y en la Tabla 9.

Con estos datos y los datos referentes a los usos (totABS) del indicador CSI018 es posible obtener el IEA anualmente.

En cuanto a la identificación y descripción de sucesos extremos, se pone como ejemplo el de algunas de las avenidas

extremas acontecidas en Europa en los últimos años. La magnitud y extensión de las mismas se ha evaluado a partir de la identificación de los máximos de las series temporales de caudales máximos anuales en las estaciones de aforo pertenecientes a una misma cuenca, coincidentes a lo largo de los mismos días. Dado que la base de datos de EWQ contiene información, entre otros, de los caudales máximos anuales (Qmax) y la fecha de registro, y del caudal medio anual, el indicador más sencillo para la evaluación de la magnitud de la avenida es la relación entre el Qmax identificado para una avenida con la media de los caudales anuales de la serie temporal, esto es, la media interanual para la serie (Qmed). De este modo, a la relación Qmax/Qmed se ha

Austria	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aportación media anual (mm/año)	837,1	840,83	777,93	856,01	845,78	848,98	827,56
Caudal de entrada de los países colindantes (mm/año)	17,48	18,26	18,00	21,26	16,70	16,83	17,22
Recurso hídrico renovable total (mm/año)	854,58	859,09	795,93	877,27	862,48	865,81	844,78
Austria	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Aportación media anual (mm/año)	907,27	932,93	828,26	951,97	613,16	588,66	
Caudal de entrada de los países colindantes (mm/año)	22,44	21,40	21,13	23,48	15,39	15,79	
Recurso hídrico renovable total (mm/año)	929,71	954,33	849,39	975,45	628,55	604,45	

TABLA 9. Valores obtenidos para Austria a partir de WBQ utilizando la aplicación EWQ.

ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES TOTALES ANUALES E IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS EXTREMOS A PARTIR DE LA RED EIONET-WATER QUANTITY

venido denominando a lo largo de este artículo, como “intensidad de la avenida”. La realización de gráficos de cajas y bigotes para las relaciones Q_{max}/Q_{med} de las series temporales permiten identificar la importancia de las distintas avenidas acontecidas. El factor que más influye sobre la variación de la intensidad de las avenidas es la superficie de la cuenca, siendo las avenidas más intensas en cabecera.

Por su parte, la identificación de las causas de las mayores avenidas se ha realizado mediante el análisis de las series de máximas precipitaciones diarias en el año y la fecha en las que éstas ocurrieron. En las grandes avenidas, se ha detectado que la máxima precipitación anual de dicho año se produjo precisamente en las fechas correspondientes a las avenidas en cuestión. Una medida de la cuantía relativa de las mismas se ha efectuado por el porcentaje de lluvia que la precipitación máxima representa sobre la precipitación media interanual de la serie, obteniéndose porcentajes en torno al 20% o mayores en las zonas de mayor precipitación, en particular en el estudio para la avenida de agosto del 2002.

6. REFERENCIAS

EEA's Dataservice: <http://dataservice.eionet.eu.int/dataservice/>.

EEA's WEI: http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131848/IAssessment1116497549252/view_content.

EWQ ArcGis Tolbox: <http://hercules.cedex.es/hidrologia/pub/proyectos/etcwater.htm>.

“Data Dictionary. Definition of Eionet-Water: Water Quantity Dataset”, EEA – ETC/WTR, August 2006.

“Eionet-Water Quantity stations: current status and future possibilities”, EEA - ETC/WTR report, Incio, L. and Marcuello, C., 2005.

“Inland waters in the european union”, Ministerio de Medio Ambiente – CEDEX, Dimas et Al., 2004.

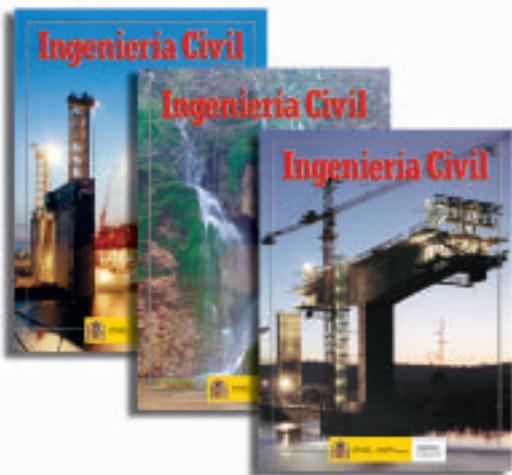
“Eurowaternet Quantity. Technical guidelines for implementation”, EEATEchnical Report N° 99, Marcuello, C. and Menéndez, M., 2003.

“World Water in 2025 – Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century”, Report A0002, Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Alcamo, J. et al., 2000.

“Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world”, Stockholm Environmental Institute, Raskin, P., et al., 1997.

“Climatological aspects of the extreme European rainfall of Agust 2002 and a trajectory method for estimating the associated evaporative regions”. P. James, A. Stohl, N. Spichtinger, S. Eckhardt, and C. Foster. Natural Hazards and Earth System Sciences (2004) 4: 733-746.

Ingeniería Civil



Enviar a: Revista **Ingeniería Civil** (PUBLICACIONES)

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX
c/ Alfonso XII, 3 • 28014 Madrid

Tarjeta de Suscripción

Un año **49 €** con IVA incluido

CIF o DNI: _____ Nombre: _____

Apellidos: _____

Empresa: _____

Calle: _____ n.º: _____

Población: _____ C.P.: _____

Provincia: _____ Telf.: _____ Fecha: _____

Firma: _____

Formas de Pago

A nombre del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Cheque nominativo

Giro Postal

Transferencia bancaria a la c/c nº 0182-2370-45-0200200574 de BBVA (c/ Alcalá, 16 - 6ª planta • 28014 Madrid)

NOTA IMPORTANTE: Los cambios de domicilio deben ser notificados con un mes de antelación.