

ANÁLISIS DE ESCENARIOS ZADORRA - ORDUNTE 2020

28 OCTUBRE 2020

TlieT

TlieT



INTRODUCCIÓN

Esta aplicación de escritorio pretende, en primer lugar, conocer los volúmenes embalsados diarios y los vertidos realizados, además de los volúmenes turbinados extra en Barazar y los sobrevertidos que se hubiesen producido a lo largo de la serie histórica conocida con el régimen de explotación propuesto.

Esta aplicación estudia el comportamiento evolutivo, tanto de los embalses del Zadorra junto con el de Ordunte en todas sus facetas, sequía, cambio climático, avenidas, vertidos, etc., como el comportamiento de dichos embalses al fallar alguna de sus infraestructuras principales. Por esto, podemos clasificar el estudio en cinco apartados claramente diferenciados:

- Análisis del Sistema conjunto Zadorra – Ordunte a partir de la serie histórica
- Prognosis de evolución de los embalses en períodos pésimos
- Análisis de los vertidos. Prognosis con nuevas infraestructuras
- Análisis de probabilidades en el abastecimiento. Mapas de probabilidad
- Análisis de fallo de infraestructuras principales

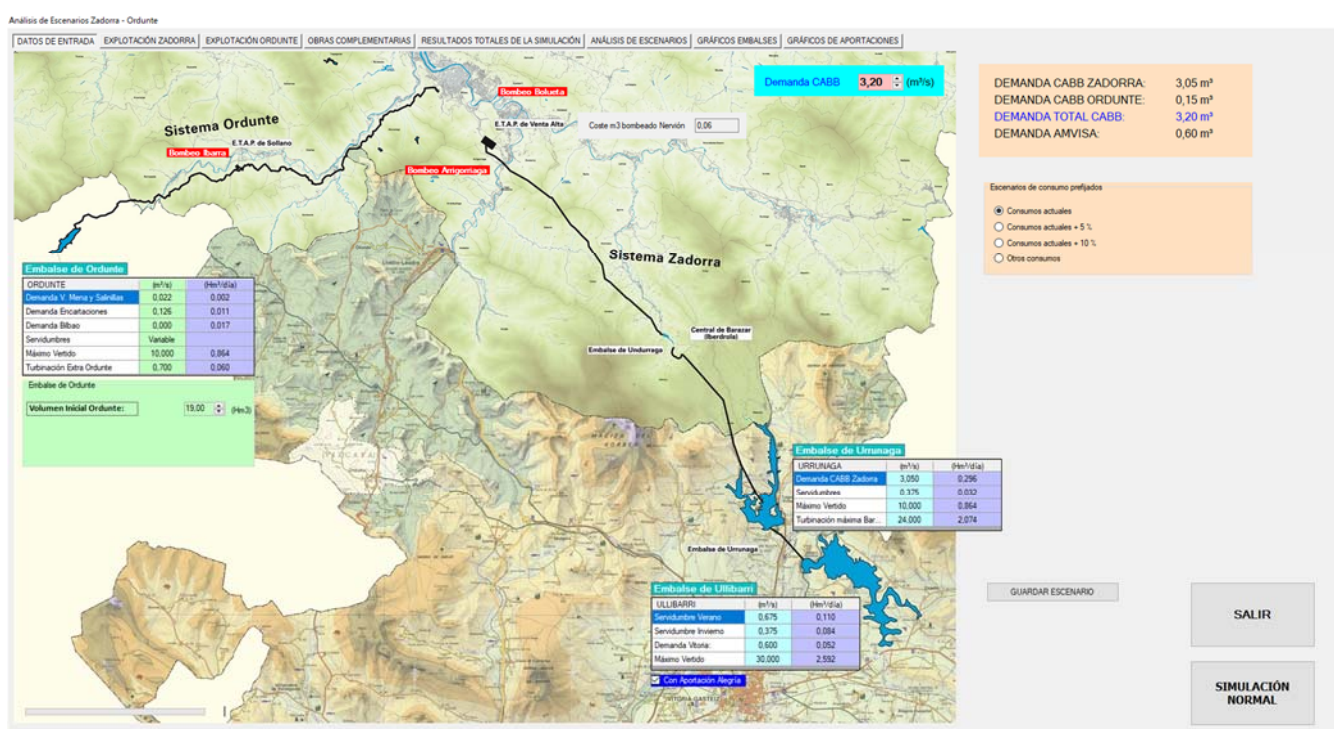
1. Análisis del Sistema conjunto Zadorra – Ordunte a partir de la serie histórica

Aquí se analiza el funcionamiento hidráulico integral del Sistema conjunto Zadorra – Ordunte. Para ello se presentan 4 pantallas de introducción de datos que son:

- Datos de Entrada
- Explotación Zadorra
- Explotación Ordunte
- Obras Complementarias

Pantallas que pasamos a detallar a continuación:

1. Datos de Entrada



En esta pantalla de introducción de datos se presentan principalmente las demandas y servidumbres de cada uno de los embalses, así como los datos de vertidos máximos y caudales de turbinación en Barazar.

Embalse de Urrunaga		
URRUNAGA	(m³/s)	(Hm³/día)
Demanda CABB Zadorra	3,050	0,296
Servidumbres	0,375	0,032
Máximo Vertido	10,000	0,864
Turbinación máxima Bar...	24,000	2,074

Explotación en Urrunaga

Embalse de Ullibarri		
ULLIBARRI	(m³/s)	(Hm³/día)
Servidumbre Verano	0,675	0,110
Servidumbre Invierno	0,375	0,084
Demanda Vitoria:	0,600	0,052
Máximo Vertido	30,000	2,592

Explotación en Ullibarri

☒ Con Aportación Alegría

Este “check” indica que se tienen en cuenta las aportaciones del río Alegría en el embalse de Ullibarri

Embalse de Ordunte		
ORDUNTE	(m³/s)	(Hm³/día)
Demanda V. Mena y Salinillas	0,022	0,002
Demanda Encartaciones	0,126	0,011
Demanda Bilbao	0,000	0,017
Servidumbres	Variable	
Máximo Vertido	10,000	0,864
Turbinación Extra Ordunte	0,700	0,060

Embalse de Ordunte

Volumen Inicial Ordunte: 19,00 (Hm3)

Explotación en Ordunte

Demanda CABB 3,20 (m³/s)

Esta es la demanda total gestionada por el CABB, que equivale a la suma de las demandas en Urrunaga y Ordunte.

DEMANDA CABB ZADORRA: 3,05 m³
 DEMANDA CABB ORDUNTE: 0,15 m³
DEMANDA TOTAL CABB: 3,20 m³
 DEMANDA AMVISA: 0,60 m³

Cuadro resumen de Demandas

Escenarios de consumo prefijados

- ☒ Consumos actuales
- ☐ Consumos actuales + 5 %
- ☐ Consumos actuales + 10 %
- ☐ Otros consumos

Escenarios prefijados para facilitar los análisis más habituales

SALIR

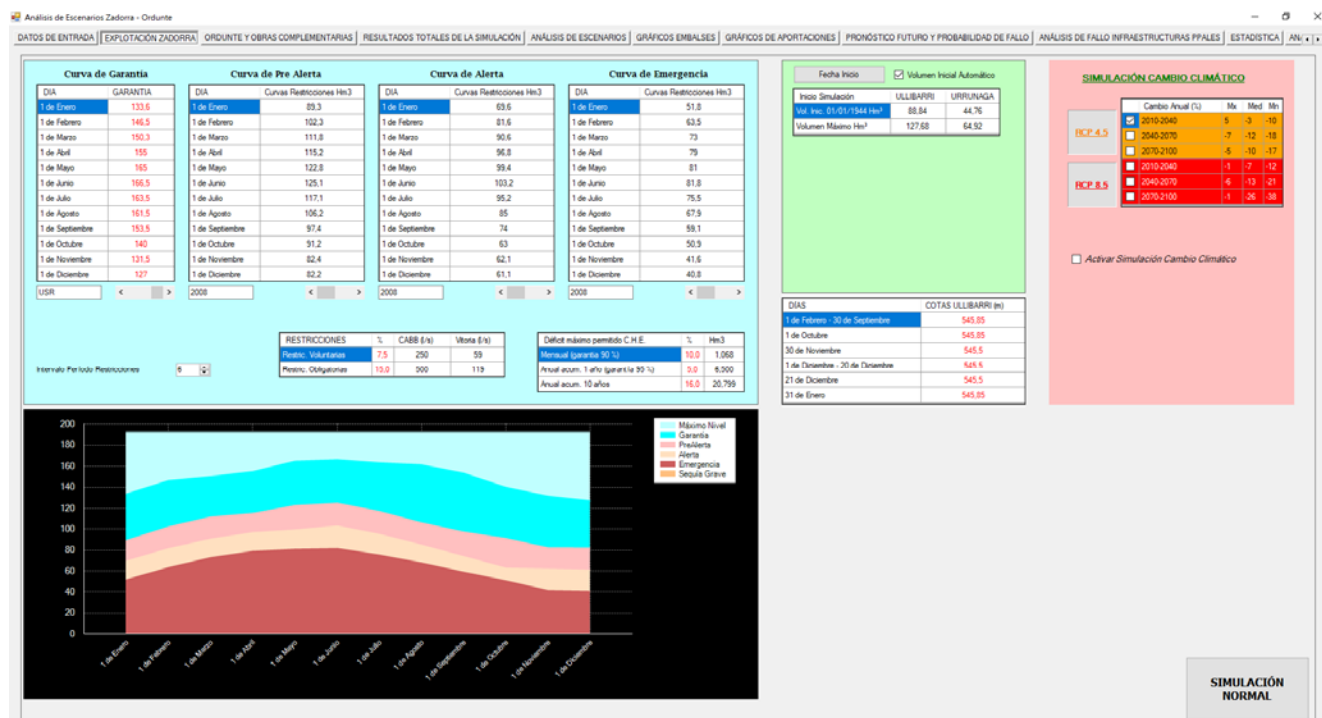
**SIMULACIÓN
NORMAL**

El “botón” **SALIR** finaliza el análisis y termina el programa

El “botón” **SIMULACIÓN NORMAL** realiza el análisis completo de la serie histórica

2. Explotación Zadorra

En esta pantalla de introducción de datos se detallan, por un lado, todas y cada una de las curvas de explotación de los embalses del Zadorra (Garantía o Normalidad, Pre Alerta, Alerta y Emergencia), junto con la introducción de la fecha de inicio de la simulación y la curva de almacén de Ullibarri para el comienzo de los vertidos y por otro lado, la simulación por Cambio Climático que se detalla en un apartado específico.



Pantalla completa de Explotación Zadorra

Curva de Garantía		Curva de Pre Alerta		Curva de Alerta		Curva de Emergencia	
DIA	GARANTIA	DIA	Curvas Restricciones Hm3	DIA	Curvas Restricciones Hm3	DIA	Curvas Restricciones Hm3
1 de Enero	133,6	1 de Enero	89,3	1 de Enero	69,6	1 de Enero	51,8
1 de Febrero	146,5	1 de Febrero	102,3	1 de Febrero	81,6	1 de Febrero	63,5
1 de Marzo	150,3	1 de Marzo	111,8	1 de Marzo	90,6	1 de Marzo	73
1 de Abril	155	1 de Abril	115,2	1 de Abril	96,8	1 de Abril	79
1 de Mayo	165	1 de Mayo	122,8	1 de Mayo	99,4	1 de Mayo	81
1 de Junio	166,5	1 de Junio	125,1	1 de Junio	103,2	1 de Junio	81,8
1 de Julio	163,5	1 de Julio	117,1	1 de Julio	95,2	1 de Julio	75,5
1 de Agosto	161,5	1 de Agosto	106,2	1 de Agosto	85	1 de Agosto	67,9
1 de Septiembre	153,5	1 de Septiembre	97,4	1 de Septiembre	74	1 de Septiembre	59,1
1 de Octubre	140	1 de Octubre	91,2	1 de Octubre	63	1 de Octubre	50,9
1 de Noviembre	131,5	1 de Noviembre	82,4	1 de Noviembre	62,1	1 de Noviembre	41,6
1 de Diciembre	127	1 de Diciembre	82,2	1 de Diciembre	61,1	1 de Diciembre	40,8

Curvas de explotación del Zadorra correspondientes al convenio en vigor desde el año 2008

DÍAS	COTAS ULLIBARRI (m)
1 de Febrero - 30 de Septiembre	545,85
1 de Octubre	545,85
30 de Noviembre	545,5
1 de Diciembre - 20 de Diciembre	545,5
21 de Diciembre	545,5
31 de Enero	545,85

Esto representa la curva de almacén de Ullibarri, en la que se producen vertidos controlados cuando se sobrepasa.

RESTRICCIONES	%	CABB (l/s)	Vitoria (l/s)
Restric. Voluntarias	7,5	229	45
Restric. Obligatorias	15,0	458	90

Valor establecido de la reducción estimada en el consumo cuando se alcanza el nivel de Emergencia.

Déficit máximo permitido C.H.E.	%	Hm3
Mensual (garantía 90 %)	10,0	0,946
Anual acum. 1 año (garantía 95 %)	5,0	5,755
Anual acum. 10 años	16,0	18,417

Criterios de déficit máximos permitidos por la C.H.E. para la correcta explotación de los sistemas de abastecimiento.

SIMULACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

RCP 4.5

RCP 8.5

	Cambio Anual (%)	Mx	Med	Mn
☒ 2010-2040	5	-3	-10	
☐ 2040-2070	-7	-12	-18	
☐ 2070-2100	-5	-10	-17	
☐ 2010-2040	-1	-7	-12	
☐ 2040-2070	-6	-13	-21	
☐ 2070-2100	-1	-26	-38	

SIMULACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO NO ACTIVADO

☐ Activar Simulación Cambio Climático

La simulación del Cambio Climático se expone en un anexo aparte

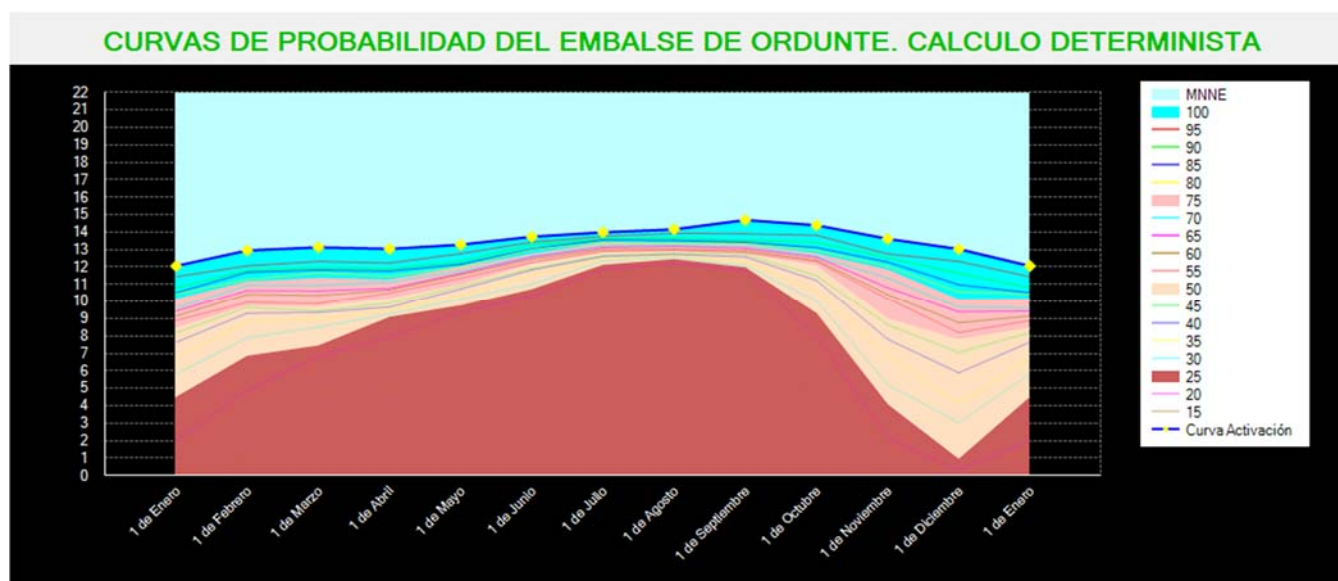
3. Explotación Ordunte

La explotación del embalse de Ordunte responde a unas consideraciones muy concretas propuestas por la Subdirección de Explotación del CABB que pasamos a exponer a continuación con el propósito de que se tenga una visión clara del funcionamiento conjunto de este embalse, junto con los que conforman el Sistema Zadorra.

Fase previa. Cálculo de las curvas de probabilidad del embalse de Ordunte. Cálculo determinista

En primer lugar, se realiza un procedimiento para la realización del cálculo de las curvas de probabilidad del 100% y sucesivas del embalse de Ordunte con los siguientes criterios:

- El volumen mínimo en Ordunte debe ser tal que proporcione, en una supuesta situación de emergencia en el abastecimiento del sistema Zadorra, un caudal de 1000 l/s durante 4 meses.
- Dicho cálculo se realiza buscando el período pésimo a lo largo del año y con las series de aportaciones al embalse que son datos de partida para dicho cálculo.



Mapa probabilístico en Ordunte para las siguientes condiciones:

Explotación Embalse de Ordunte

Cálculo Garantía Ordunte

Día comienzo de cálculo: 27/07/2020

Caudal salida Ordunte (l/s): 1000

Número meses emergencia: 4,0

Detracción total período (Hm3): 13,377

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1944	1,3394	3,798501	1,7094	1,4864	1,217	0,9219002	0,6650998	0,5090999	0,5416999	5,840498	2,321399	5,784699
1945	7,859502	2,2359	1,8123	1,4764	1,2367	0,8910997	0,6514998	0,9526002	0,6998003	0,6386001	0,5431001	1,5796
1946	1,3667	1,1669	1,0534	1,7332	2,0126	1,4904	1,0149	0,7116998	0,5257002	0,4421002	1,3291	10,3335
1947	2,855799	4,061401	2,2397	1,444401	1,6436	1,1247	0,773	0,7097998	1,5916	1,0227	1,6199	6,699002
1948	6,447901	2,096499	1,4478	2,163499	1,6083	1,1483	0,8124998	0,6255001	0,632	0,7853003	0,6207001	0,5744
1949	2,101701	0,8888003	4,777499	2,1244	1,8103	1,3433	0,8860002	0,6437002	1,4265	0,9194003	2,0012	4,433801
1950	2,934001	4,031701	6,565999	2,660801	2,023	1,4648	1,0278	0,7754002	0,6304999	1,2673	0,8527998	13,9675
1951	5,277802	4,510398	3,617001	2,7583	2,870601	2,4686	1,5148	1,2635	1,0585	1,993767	1,53265	4,240426

Aportaciones mensuales al embalse de Ordunte para el cálculo de las curvas de probabilidad

Fase 1ª. Fijar criterios de explotación del embalse de Ordunte.

- Se trata de encontrar dos curvas “C1” y “C2” óptimas de los embalses del Sistema Zadorra con el propósito de que dicho sistema no entre nunca en “Emergencia”
- Estas curvas responderán al aprovechamiento del embalse de Ordunte con los siguientes condicionantes:
 - Supuesto 1º.** El volumen del Sistema Zadorra es inferior al volumen prefijado de la curva C1. En este caso se actúa de la siguiente manera:
 - Se detraen 600 l/s del embalse de Ordunte, repartidos en 150 l/s para las encartaciones, y 450 l/s que se llevarán al P16 disminuyendo en dicha cantidad lo detraído por el sistema Zadorra.
 - Esta operación se llevará a cabo siempre y cuando el embalse de Ordunte tenga reserva por encima de la curva de probabilidad elegida.

EMBALSE ORDUNTE	
Curva de Probabilidad (100 %)	
DIA	GARANTIA
1 de Enero	12,06
1 de Febrero	12,95
1 de Marzo	13,13
1 de Abril	13,04
1 de Mayo	13,28
1 de Junio	13,74
1 de Julio	13,99
1 de Agosto	14,16
1 de Septiembre	14,69
1 de Octubre	14,39
1 de Noviembre	13,62
1 de Diciembre	13,03

100 % < >

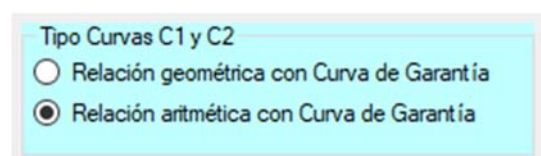
Elección de la curva de probabilidad para el cálculo de C1 y C2

o **Supuesto 2º.** El volumen del Sistema Zadorra es inferior al volumen prefijado de la curva C2. En este caso se actúa de la siguiente manera:

- Se detraen 1000 l/s del embalse de Ordunte, repartidos en 150 l/s para las encartaciones, y 850 l/s que se llevarán al P16 disminuyendo en dicha cantidad lo detraído por el sistema Zadorra.
- Esta operación se llevará a cabo, al igual que en el primer supuesto, siempre y cuando el embalse de Ordunte tenga reserva por encima de la curva de probabilidad elegida.

Sólo con estos dos supuestos, se pueden encontrar una variedad enorme de curvas válidas, por lo que se propone su cálculo con las consideraciones que se exponen a continuación:

Las curvas C1 y C2 deben tener algún tipo de relación de semejanza o proporcionalidad con la curva de garantía establecida, por lo que se proponen dos tipos de curvas a elección del usuario:



Tipo Curvas C1 y C2

☐ Relación geométrica con Curva de Garantía

☒ Relación aritmética con Curva de Garantía

- Relación geométrica con Curva de Garantía. Establece las curvas C1 y C2 como un ratio percentual de la curva de garantía.
- Relación aritmética con Curva de Garantía. Establece las curvas C1 y C2 disminuidas en una cantidad constante con respecto a la curva de garantía. Estas curvas serán paralelas a la de garantía.

Desde la subdirección de explotación se indica la idoneidad del uso de la regla aritmética por la sencillez en el procedimiento de activación de los recursos en Ordunte.

ALTERNATIVAS POSIBLES DE CURVAS C1 Y C2

Id	C1	C2	Vol. Detraído (Hm ³)	Nº Días C1 (N/año)	Períodos C1 (N/año)	Nº Días C2 (N/año)	Períodos C2 (N/año)
1	22	120	172,02 (2,4)	4405 (61,2)	63 (0,9)	0 (0,0)	0 (0,0)
2	23	81	159,67 (2,2)	4064 (56,4)	62 (0,9)	13 (0,2)	1 (0,0)
3	24	70	148,50 (2,1)	3729 (51,8)	53 (0,7)	39 (0,5)	1 (0,0)
4	25	65	137,56 (1,9)	3430 (47,6)	46 (0,6)	49 (0,7)	1 (0,0)
5	26	64	127,98 (1,8)	3179 (44,2)	40 (0,6)	52 (0,7)	1 (0,0)
6	27	63	119,46 (1,7)	2957 (41,1)	39 (0,5)	54 (0,8)	1 (0,0)
7	28	62	110,81 (1,5)	2730 (37,9)	39 (0,5)	57 (0,8)	1 (0,0)
8	29	62	103,70 (1,4)	2548 (35,4)	34 (0,5)	57 (0,8)	1 (0,0)
9	30	61	97,56 (1,4)	2385 (33,1)	29 (0,4)	60 (0,8)	1 (0,0)
10	31	60	91,36 (1,3)	2215 (30,8)	32 (0,4)	66 (0,9)	3 (0,0)
11	32	60	84,47 (1,2)	2033 (28,2)	24 (0,3)	69 (1,0)	4 (0,1)
12	33	60	78,22 (1,1)	1869 (26,0)	35 (0,5)	71 (1,0)	4 (0,1)
13	34	59	73,36 (1,0)	1724 (23,9)	19 (0,3)	82 (1,1)	3 (0,0)

Nº permitido Emergencia: 0

Cálculo C1 y C2

Cálculo realizado con Curva de Volumen Mínimo Ordunte (100 %)

Tipo Curvas C1 y C2

☐ Relación geométrica con Curva de Garantía

☒ Relación aritmética con Curva de Garantía

De todos los posibles pares de curvas que se obtienen para unas demandas prefijadas, se elige una de ellas consensuada por la Subdirección de Explotación. La elección de las curvas C1 y C2 se realiza clicando sobre la línea elegida en la tabla de alternativas.

Del cálculo que se obtiene con este procedimiento tenemos las siguientes curvas de explotación para cada uno de los supuestos estudiados:

Escenarios de consumo: Actual

- Consumo:
 - Demanda CABB Zadorra: 3,050 m³/s
 - Demanda Ordunte: 0,148 m³/s
 - Demanda AMVISA: 0,600 m³/s
- Curvas C1 y C2
 - Curva C1: 25 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 25 Hm³)
 - Curva C1: 65 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 65 Hm³)

Escenarios de consumo: Actual + 5%

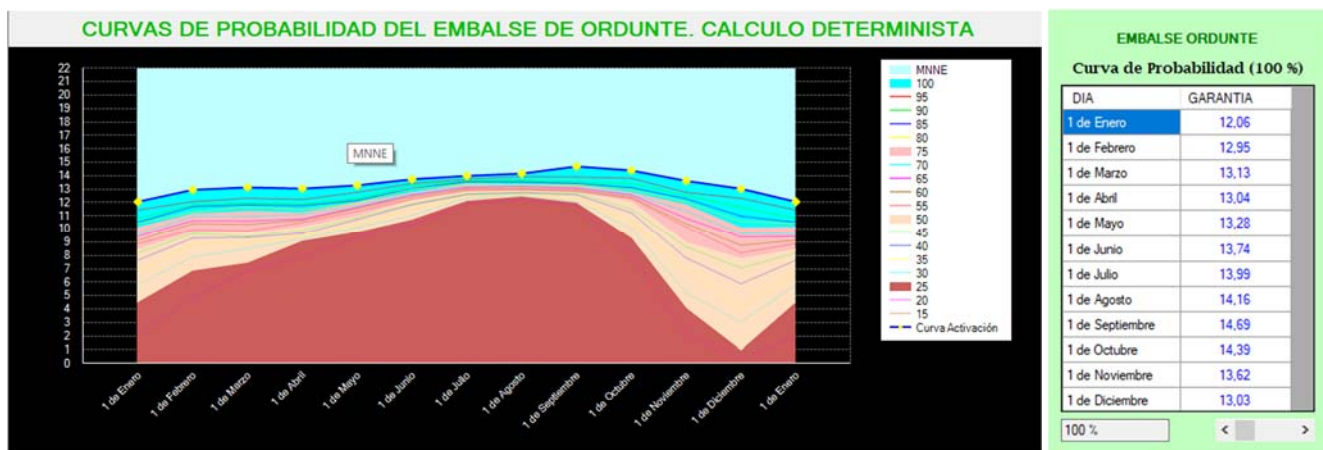
- Consumo:
 - o Demanda CABB Zadorra: 3,203 m³/s
 - o Demanda Ordunte: 0,155 m³/s
 - o Demanda AMVISA: 0,630 m³/s
- Curvas C1 y C2
 - o Curva C1: 21 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 21 Hm³)
 - o Curva C1: 56 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 56 Hm³)

Escenarios de consumo: Actual + 10%

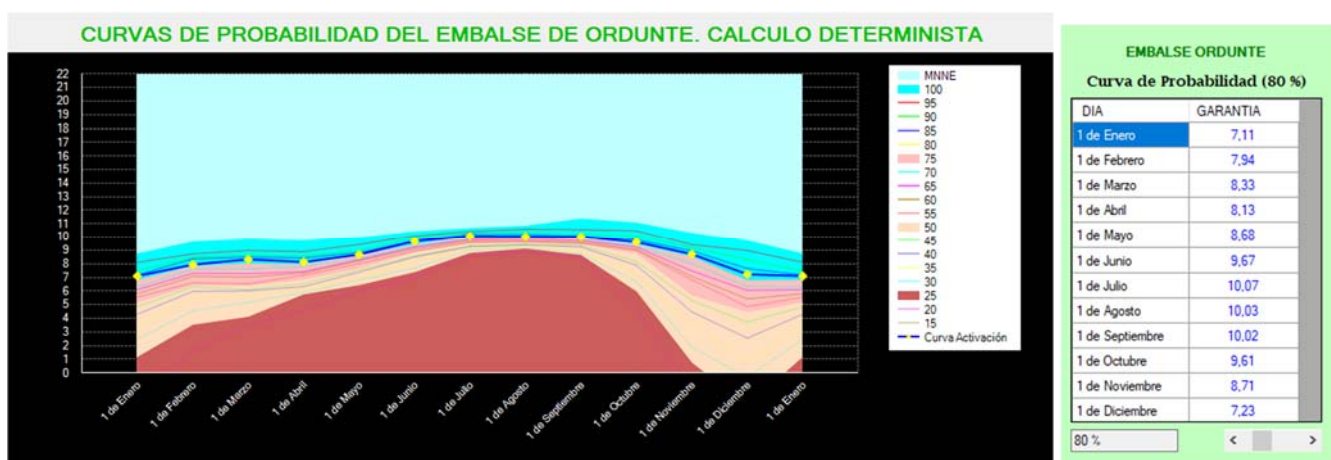
- Consumo:
 - o Demanda CABB Zadorra: 3,355 m³/s
 - o Demanda Ordunte: 0,163 m³/s
 - o Demanda AMVISA: 0,660 m³/s
- Curvas C1 y C2
 - o Curva C1: 16 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 16 Hm³)
 - o Curva C1: 23 (esto equivale a la curva de garantía reducida en 23 Hm³)

Para el cálculo de las curvas C1 y C2 en este último escenario, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- En primer lugar, se observa que para los consumos dados y con una reserva en ordunte de probabilidad 100% para 4 meses, no existe solución posible, ni siquiera con la activación continua estableciendo la curva C1 en la curva de garantía, por lo que se propone ser menos restrictivo en este supuesto.
- Por tanto se propone reducir el período de reserva de Ordunte para emergencia del Zadorra de 4 meses a 3 meses y establecemos como válido una probabilidad de reserva de Ordunte en el 80%
- Esta disminución del volumen de reserva se aprecia en la siguiente comparativa:



Volumen de reserva necesario en Ordunte para los escenarios “actual” y “actual + 5%”



Volumen de reserva necesario en Ordunte para el escenario “actual + 10%”

Turbinación en Ordunte

Además de los criterios anteriormente expuestos para la correcta explotación conjunta de los embalses del Zadorra junto con el embalse de Ordunte, se ha estudiado la optimización de los volúmenes a turbinar en Ordunte cuando los excedentes en dicho embalse lo permitan.

☒ Turbina Ordunte activa

Turbinación máxima (l/s)

Turbinación media (l/s)

Turbinación mínima (l/s)

Nº meses emergencia

Nº meses emergencia

Nº meses emergencia

Se han establecido tres curvas de activación para la central de turbinación de Ordunte con respecto al volumen almacenado en el embalse. Se han denominado curvas de turbinación máxima, media y mínima:

La curva de Turbinación máxima corresponde al volumen en el Embalse de Ordunte necesario para garantizar un suministro de 1000 l/s (además del caudal ecológico) durante 5 meses y medio. Se turbinará un caudal de 1200 l/s si se alcanza o sobrepasa esta curva.

La curva de Turbinación media corresponde al volumen en el Embalse de Ordunte necesario para garantizar un suministro de 1000 l/s (además del caudal ecológico) durante 5 meses. Se turbinará un caudal de 1000 l/s si se alcanza o sobrepasa esta curva.

La curva de Turbinación mínima corresponde al volumen en el Embalse de Ordunte necesario para garantizar un suministro de 1000 l/s (además del caudal ecológico) durante 4 meses y medio. Se turbinará un caudal de 750 l/s si se alcanza o sobrepasa esta curva.

	VOLÚMENES MÍNIMOS ORDUNTE		
	Turbinación máxima	Turbinación media	Turbinación mínima
1 de Enero	17,91	16,23	14,43
1 de Febrero	18,8	17,11	15,32
1 de Marzo	18,98	17,3	15,5
1 de Abril	18,89	17,2	15,41
1 de Mayo	19,13	17,45	15,65
1 de Junio	19,58	17,9	16,11
1 de Julio	19,84	18,15	16,36
1 de Agosto	20,01	18,32	16,53
1 de Septiembre	20,54	18,86	17,06
1 de Octubre	20,24	18,56	16,76
1 de Noviembre	19,47	17,78	15,99
1 de Diciembre	18,88	17,19	15,4
Turbinación Máxima	1200	l/s	
Turbinación Media	1000	l/s	
Turbinación Mínima	750	l/s	

4. Obras Complementarias

Esta pantalla de introducción de datos es, junto con las tres anteriores, la última que hay que tener en cuenta para la obtención de los resultados de evolución histórica de los embalses.

Se han considerado tres obras de emergencia que pueden ser activadas independientemente cada una de ellas. Son:

Activación Bombeos

Caudal

☐ Bombeo Ibarra 0.5

☐ Bombeo Nervión en Bolueta 1.6

☐ Bombeo Nervión en Arigoriaga 0.7

- Bombeo de Ibarra
- Bombeo de Arrigorriaga
- Bombeo de Bolueta

Cada una de ellas se puede activar, bien con una curva prefijada (Garantía, PreAlerta, Alerta, Emergencia o la que antiguamente se denominaba Sequía grave), o con una curva personalizada “USR” cuyos datos se presentan en color rojo.

OBRA DE EMERGENCIA BOMBEO DE IBARRA				OBRA DE EMERGENCIA BOMBEO DE ARRIGORRIAGA				OBRA DE EMERGENCIA BOMBEO DE BOLUETA			
Activación (Hm³)		Aportaciones (m³/s)		Activación (Hm³)		Aportaciones (m³/s)		Activación (Hm³)		Aportaciones (m³/s)	
DIA	ACTIVACIÓN	fecha	caudal	DIA	ACTIVACIÓN	fecha	caudal	DIA	ACTIVACIÓN	fecha	caudal
1 de Enero	69.6	01/01/1944	1.864	1 de Enero	133.6	01/01/1944	5.977	1 de Enero	133.6	01/01/1944	13.175
1 de Febrero	81.6	02/01/1944	1.864	1 de Febrero	146.5	02/01/1944	5.977	1 de Febrero	146.5	02/01/1944	13.175
1 de Marzo	90.6	03/01/1944	1.864	1 de Marzo	150.3	03/01/1944	5.977	1 de Marzo	150.3	03/01/1944	13.175
1 de Abril	96.8	04/01/1944	1.864	1 de Abril	163	04/01/1944	5.977	1 de Abril	163	04/01/1944	13.175
1 de Mayo	99.4	05/01/1944	1.864	1 de Mayo	165	05/01/1944	5.977	1 de Mayo	165	05/01/1944	13.175
1 de Junio	103.2	06/01/1944	1.864	1 de Junio	166.5	06/01/1944	5.977	1 de Junio	166.5	06/01/1944	13.175
1 de Julio	95.2	07/01/1944	1.864	1 de Julio	163.5	07/01/1944	5.977	1 de Julio	163.5	07/01/1944	13.175
1 de Agosto	85	08/01/1944	1.864	1 de Agosto	161.5	08/01/1944	5.977	1 de Agosto	161.5	08/01/1944	13.175
1 de Septiembre	74	09/01/1944	1.864	1 de Septiembre	153.5	09/01/1944	5.977	1 de Septiembre	153.5	09/01/1944	13.175
1 de Octubre	63	10/01/1944	1.864	1 de Octubre	140	10/01/1944	5.977	1 de Octubre	140	10/01/1944	13.175
1 de Noviembre	62.1	11/01/1944	1.864	1 de Noviembre	131.5	11/01/1944	5.977	1 de Noviembre	131.5	11/01/1944	13.175
1 de Diciembre	61.1	12/01/1944	1.864	1 de Diciembre	127	12/01/1944	5.977	1 de Diciembre	127	12/01/1944	13.175
USR				Curva Garantía							

En cada uno de los bombeos se encuentran dos tablas, la primera corresponde a los volúmenes para la activación de dichos bombeos que son configurables por el usuario, la segunda, de aportaciones (aforos), es simplemente informativa ya que permite conocer los aforos diarios en cada una de las obras de emergencia.

EMBALSE DE ORDUNTE			
Activación (Hm³)		Aportaciones (m³/s)	
DIA	ACTIVACIÓN	fecha	valor
1 de Enero	110.6	01/01/1944	0.500
1 de Febrero	123.5	02/01/1944	0.500
1 de Marzo	127.3	03/01/1944	0.500
1 de Abril	140	04/01/1944	0.500
1 de Mayo	142	05/01/1944	0.500
1 de Junio	143.5	06/01/1944	0.500
1 de Julio	140.5	07/01/1944	0.500
1 de Agosto	138.5	08/01/1944	0.500
1 de Septiembre	130.5	09/01/1944	0.500
1 de Octubre	117	10/01/1944	0.500
1 de Noviembre	108.5	11/01/1944	0.500
1 de Diciembre	104	12/01/1944	0.500

En el caso de Ordunte, las curvas de activación se han definido en el apartado anterior, por lo que aquí son meramente informativas.

La explotación conjunta de los embalses del Zadorra junto con el embalse de Ordunte se activa con el check que se encuentra en la parte inferior derecha de esta pantalla:

☒ Usado como Emergencia en Sequía

En el supuesto que no se marque este check, cada sistema actuará independiente.

La activación y el caudal suministrado por cada obra de emergencia se realizan en esta caja:

Activación Bombes		Caudal
☐ Bombeo Ibarra		0.5
☐ Bombeo Nervión en Bolueta		1.6
☐ Bombeo Nervión en Arigoniaga		0.7

También podemos elegir qué caudales de servidumbre deben de usarse para el Nervión en Bolueta, que corresponden a la revisión 2015-2021 del Plan Hidrológico del Cantábrico Oriental:

Según la revisión 2015-2021 del Plan Hidrológico del Cantábrico Oriental							
Bombeo Bolueta							
CAUDAL MÍNIMO ECOLÓGICO m3/s	SITUACIÓN HIDROLÓGICA ORDINARIA			EMERGENCIA DECLARADA POR SEQUÍA			
	AA	AM	AB	AA	AM	AB	
	5,213		3,866		2,625	1,947	1,288
Donde							
AA (Aguas Altas):	Enero, Febrero, Marzo y Abril						
AM (Aguas Medias):	Mayo, Junio, Noviembre y Diciembre						
AB (Aguas Bajas):	Julio, Agosto, Septiembre y Octubre						
Sin embargo, para el bombeo de Bolueta, en las condiciones técnicas particulares de la autorización al CABB para el aprovechamiento de 2.000 l/s de agua del río Nervión en Bolueta (Expediente A/48/05466, resolución de fecha 1-07-2010) se fija un caudal remanente en el cauce de 610 l/s además del necesario para garantizar las concesiones vigentes aguas abajo (a determinar)							

Caudales Ecológicos

Estación	Situación hidrológica ordinaria			Emergencia declarada en sequía		
	AA	AM	AB	AA	AM	AB
Ibarra	0.612	0.483	0.330	0.498	0.396	0.273
Bolueta	5.213	3.866	2.557	2.625	1.947	1.288
Amig.	1.161	0.655	0.285	1.081	0.612	0.264
Ordunte	0.197	0.151	0.100	0.100	0.076	0.050

Pantalla informativa de caudales ecológicos de todas las obras de emergencia.

5. Simulación y Resultados

Una vez realizado todo lo anterior estamos en disposición de obtener la evolución histórica de ambos embalses a lo largo de la serie estudiada. Esto se realiza pulsando el botón:

**SIMULACIÓN
NORMAL**

que se encuentra en cualquier pantalla de introducción de datos.

A partir de aquí podemos ver los resultados de forma numérica o gráfica.

La pantalla que se activa en primer lugar corresponde a una comparativa entre los diferentes escenarios estudiados.

Análisis de Escenarios

Analisis de Escenarios Zadora - Ordunte

DATOS DE ENTRADA	EXPLOTACIÓN ZADORA	EXPLOTACIÓN ORDUNTE	OBRAS COMPLEMENTARIAS	RESULTADOS TOTALES DE LA SIMULACIÓN	ANÁLISIS DE ESCENARIOS	GRÁFICOS EMBALSES	GRÁFICOS DE APORTACIONES
Escenario	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4			
Día comienzo Simulación	10.05.9	28.05.9	3-8.05.9	4-8.5			
Día comienzo Simulación	01/01/1944	01/01/1944	01/01/1944	01/01/1944			
Detención Orduña (Bibao) m³/seg	0.163 m³/s	0.163 m³/s	0.163 m³/s	0.163 m³/s			
Detención Unzuaga (Bibao) m³/seg	3.355 m³/s	3.355 m³/s	3.355 m³/s	3.355 m³/s			
Detención Uriban (Vitoria) m³/seg	0.66 m³/s	0.66 m³/s	0.66 m³/s	0.66 m³/s			
Curva de Explotación (Garantía)	USR	USR	USR	USR			
Curva Activación Bombeo Ibarra	NO	NO	USR	USR			
Aportación Máxima Bombeo Ibarra (m³/s)	NO	NO	0.5 m³/s	0.5 m³/s			
Funcionamiento medio del B. Ibarra (días/año)	0 días	0 días	1 días	4 días			
Curva Activación Nervión	NO	Emergencia	Emergencia	Emergencia			
Aportación Máxima Bombeo Bolueta (m³/s)	NO	1.6 m³/s	1.6 m³/s	1.6 m³/s			
Funcionamiento medio del B. Bolueta (días/año)	0 días	0 días	0 días	0 días			
Aportación Máxima Bombeo Arangazaga (m³/s)	NO	NO	NO	NO			
Funcionamiento medio del B. Arangazaga (días/año)	0 días	0 días	0 días	0 días			
Simulación con Caudal Caudal	NO	NO	NO	NO			
Volumen mínimo Zadora (Hm³)	70.889 Hm³	70.889 Hm³	77.359 Hm³	60.689 Hm³			
Días vertido máximo al año (L)	4 días	4 días	4 días	4 días			
Sobrevivido: días - cantidad	13 - 115.623 m³/s	13 - 115.623 m³/s	14 - 115.486 m³/s	13 - 115.670 m³/s			
Vol. Max. Ordunte	22 Hm³	22 Hm³	22 Hm³	22 Hm³			
Vol. Min. Ordunte	5.34 Hm³	5.34 Hm³	6.34 Hm³	15.32 Hm³			
Caudal Máximo Desagüe Solano	1.2 m³/s	1.2 m³/s	1.2 m³/s	1.2 m³/s			
Aprovechamiento de Aguas Raras en Ordunte	NO	NO	NO	NO			
Utilización conjunta Ordunte - Zadora	SI	SI	SI	NO			
Curvas C1 y C2. Tipo - Valor C1 / Valor C2	Actn. - 16 / 23	Actn. - 16 / 23	Actn. - 16 / 23	NO			
Caudal Aportado C1 y C2 (L/s)	600 / 1000	600 / 1000	600 / 1000	NO			
Curva de Probabilidad Ordunte (%)	80 %	80 %	80 %	NO			
Volumen Vertidos en Ordunte (Hm³/año)	4.711	4.710	20.475	26.612			
Volumen Turbinación en Ordunte (Hm³/año)	23.617	23.640	5.142	5.142			
Periodos en situación de Alerta (días totales)	134 días	120 días	71 días	250 días			
Periodos en situación de Alerta (nº y periodo máximo)	3 - 61 días	3 - 59 días	3 - 52 días	6 - 31 días			
Periodos en situación de Emergencia (días totales)	10 días	0 días	0 días	24 días			
Periodos en situación de Emergencia (nº y periodo máximo)	1 - 10 días	0 - 0 días	0 - 0 días	1 - 24 días			

2-120 días No Insume Análisis Manual

2-120 días Insume Análisis Diario

2-120 días Insume Análisis Mensual

2-120 días Insume Análisis Anual

DIARIO 01/01/1944 - 31/12/2015

MENSUAL 01/1944 - 12/2018

Generación de Hojas Excel

Una vez visto el resumen, podemos acceder a la pantalla de resultados en la que se detallan con más precisión los parámetros estudiados en la última simulación realizada.

Resultados Totales de la Simulación

<

HojasExcel

GENERACIÓN DE HOJAS EXCEL

ULLIBARRI

- ☐ APORTACIONES ULLIBARRI
- ☐ DETRACCIONES ULLIBARRI
- ☐ COTA ULLIBARRI
- ☐ VOLUMEN ULLIBARRI
- ☐ TRASVASE A URRUNAGA
- ☐ SOBREVERTIDO ULLIBARRI

URRUNAGA

- ☐ APORTACIONES URRUNAGA
- ☐ DETRACCIONES URRUNAGA
- ☐ COTA URRUNAGA
- ☐ VOLUMEN URRUNAGA
- ☐ TRASVASE A ULLIBARRI
- ☐ SOBREVERTIDO URRUNAGA
- ☐ TURBINACIÓN TOTAL BARAZAR

ORDUNTE

- ☐ APORTACIONES ORDUNTE
- ☐ DETRACCIONES ORDUNTE
- ☐ COTA ORDUNTE
- ☐ VOLUMEN ORDUNTE
- ☐ APORTACIONES AL CABB
- ☐ VERTIDOS ORDUNTE

ULLIBARRI + URRUNAGA

- ☐ APORTACIONES ZADORRA
- ☐ DETRACCIONES ZADORRA
- ☐ VOLUMEN ZADORRA

OBRAS COMPLEMENTARIAS

- ☐ APORTACIONES IBARRA
- ☐ APORTACIONES BOLUETA
- ☐ APORTACIONES ARRIGORRIAGA

Marcar todas las hojas

Generar Hojas Excel

Al seleccionar las series de datos deseadas y pulsando en el botón “Generar Hojas Excel” se obtendrá un fichero Excel con los datos resumidos en totales o medias mensuales para todos los años de la serie estudiada.

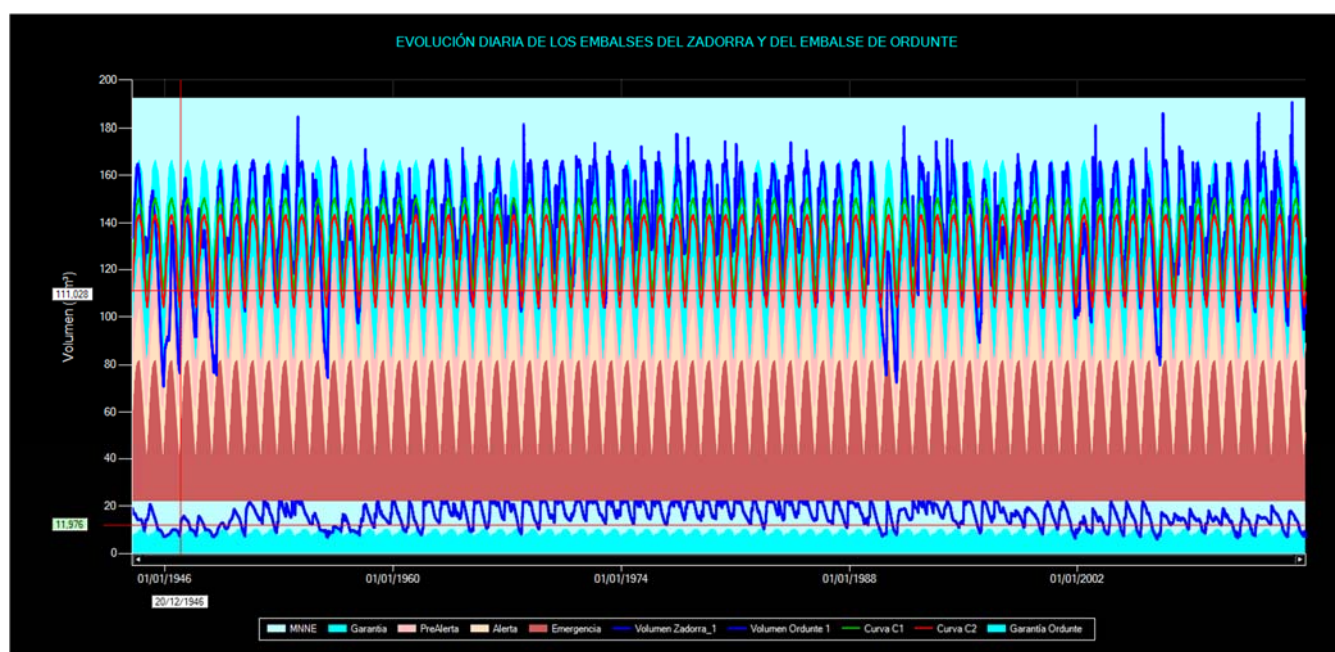
Un ejemplo de esto se presenta a continuación:



Resultados gráficos

Una vez hecha la simulación, se puede acceder a la pantalla de “Gráficos Embalses” donde se puede observar la evolución diaria de los embalses del Zadorra y del embalse de Ordunte.

Al entrar en esta pantalla de resultados por primera vez, se presentan los datos de toda la serie histórica analizada.



En esta pantalla se aprecian los volúmenes diarios, tanto de los embalses del Zadorra como del de Ordunte con la misma escala gráfica en ordenadas (Volumen) como en abscisas (Fecha). Si por razones visuales se prefiere que no aparezcan las gráficas correspondientes a Ordunte, basta con “apagarlo” desde las opciones de “visualización”.

Visualizar Embalses Zadorra / Ordunte

☒ Zadorra 1	☒ Ordunte 1
☐ Zadorra 2	☐ Ordunte 2

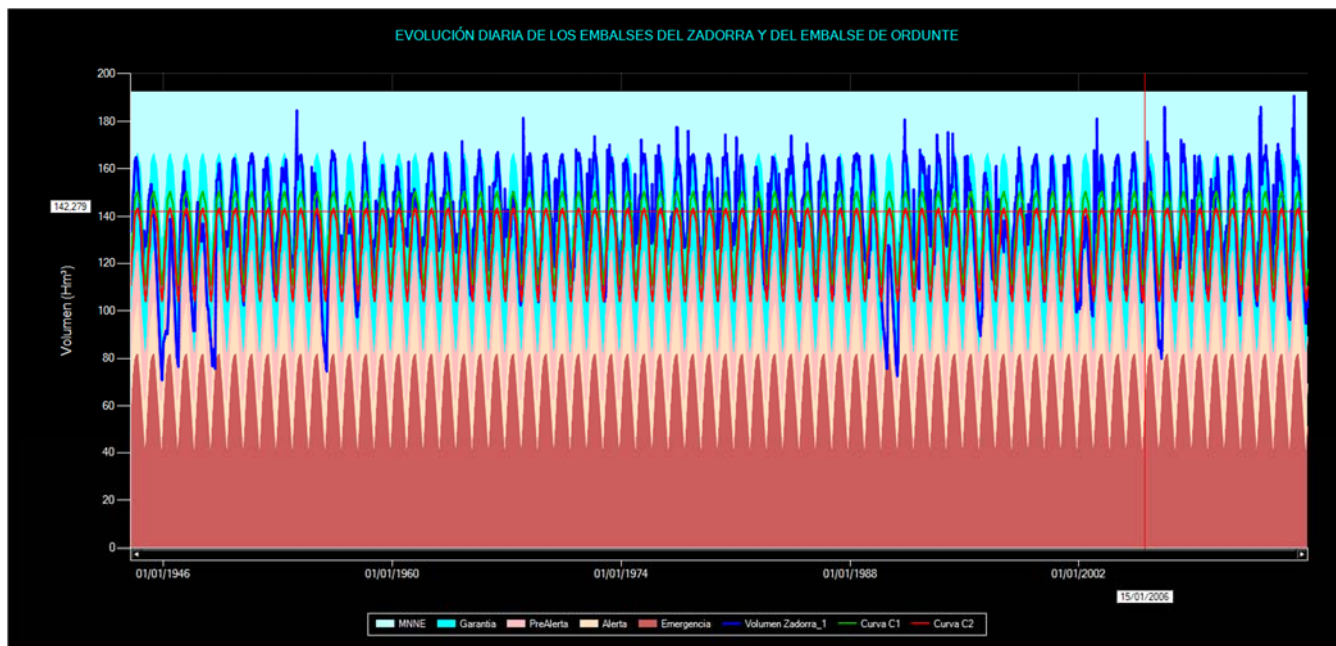
Vista de ambos embalses

Visualizar Embalses Zadorra / Ordunte

☒ Zadorra 1	☐ Ordunte 1
☐ Zadorra 2	☐ Ordunte 2

Vista del Zadorra

De esta forma veremos sólo lo relativo al Zadorra:

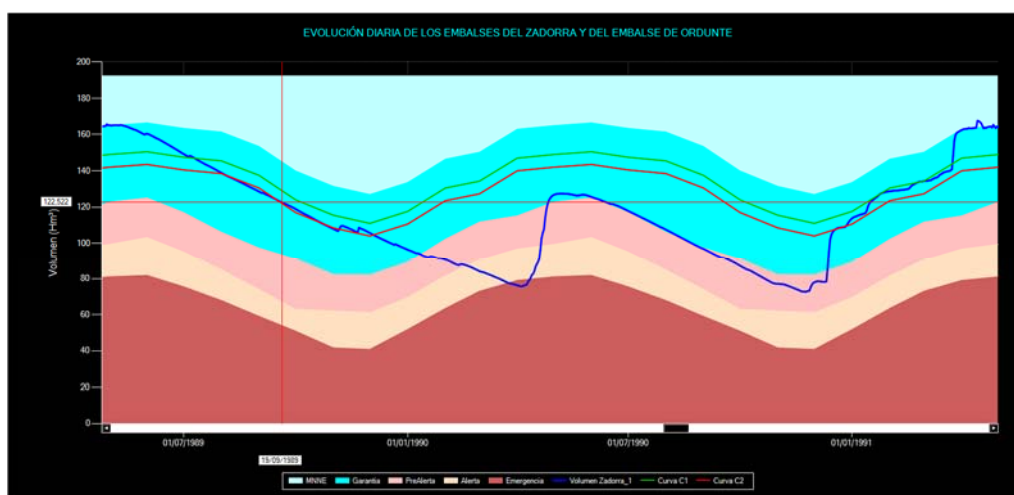
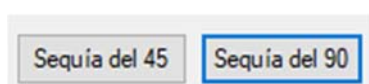


Visualización rápida de los períodos de sequía conocidos:

En la serie histórica conocida han habido dos períodos de sequía que son objeto de estudio para el análisis de las sequías. Estos son:

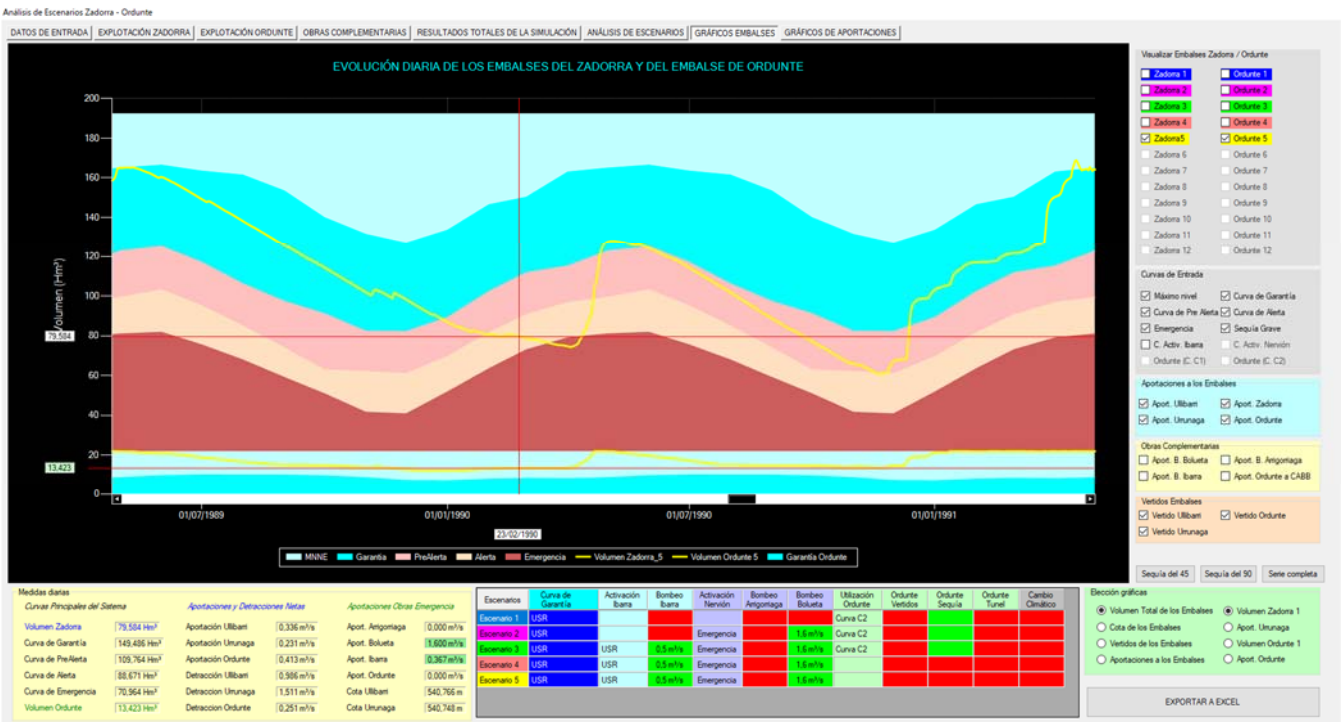
- Sequía del 1945: Comprende el período desde el 28/05/1944 hasta el 14/09/1950
- Sequía del 1990: Comprende el período desde el 23/04/1989 hasta el 30/04/1991

Con el objeto de visualizar con detalle estos períodos se han habilitado dos botones con ese fin.



Visualización del período de sequía de 1990

Para ver los datos relativos a cada momento de la simulación, basta con poner el cursor en la fecha deseada y en la tabla inferior izquierda aparecerán los datos numéricos más relevantes de dicha simulación.



Medidas diarias

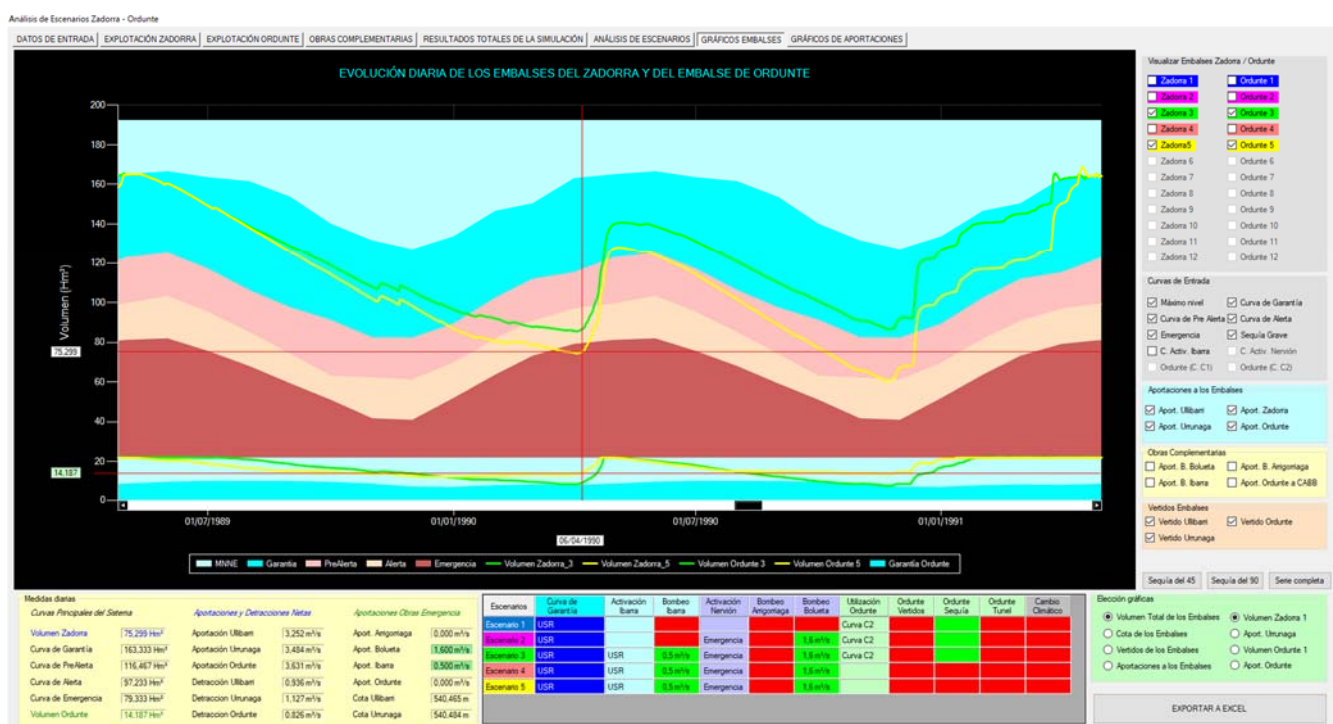
Curvas Principales del Sistema		Aportaciones y Dentraciones Netas		Aportaciones Obras Emergencia	
Volumen Zadorra	79,584 Hm³	Aportación Ullibari	0,336 m³/s	Aport. Arigoniaga	0,000 m³/s
Curva de Garantía	149,486 Hm³	Aportación Umunaga	0,231 m³/s	Aport. Bolueta	1,600 m³/s
Curva de PreAlerta	109,764 Hm³	Aportación Ordunte	0,413 m³/s	Aport. Ibarra	0,367 m³/s
Curva de Alerta	88,671 Hm³	Detracción Ullibari	0,986 m³/s	Aport. Ordunte	0,000 m³/s
Curva de Emergencia	70,964 Hm³	Detracción Umunaga	1,511 m³/s	Cota Ullibari	540,766 m
Volumen Ordunte	13,423 Hm³	Detracción Ordunte	0,251 m³/s	Cota Umunaga	540,748 m

Comparativa gráfica de escenarios.

Para realizar una comparativa gráfica entre dos o más escenarios, basta con seleccionarlos en los “Checks” de visualización.

Visualizar Embalses Zadorra / Ordunte

☐ Zadorra 1	☐ Ordunte 1
☐ Zadorra 2	☐ Ordunte 2
☒ Zadorra 3	☒ Ordunte 3
☐ Zadorra 4	☐ Ordunte 4
☒ Zadorra 5	☒ Ordunte 5
☐ Zadorra 6	☐ Ordunte 6
☐ Zadorra 7	☐ Ordunte 7
☐ Zadorra 8	☐ Ordunte 8
☐ Zadorra 9	☐ Ordunte 9
☐ Zadorra 10	☐ Ordunte 10
☐ Zadorra 11	☐ Ordunte 11
☐ Zadorra 12	☐ Ordunte 12



De esta forma podemos analizar la evolución de los embalses al cambiar las condiciones de entrada, como pueden ser las activaciones de las obras de emergencia, demandas a los diferentes sistemas o diferentes criterios de explotación.

Otras visualizaciones gráficas

Además de ofrecer visualmente la evolución del volumen de los embalses, se pueden visualizar otros parámetros, como la cota de los embalses, vertidos y volúmenes aportados. Esto se realiza con la “Elección gráfica”

Elección gráficas

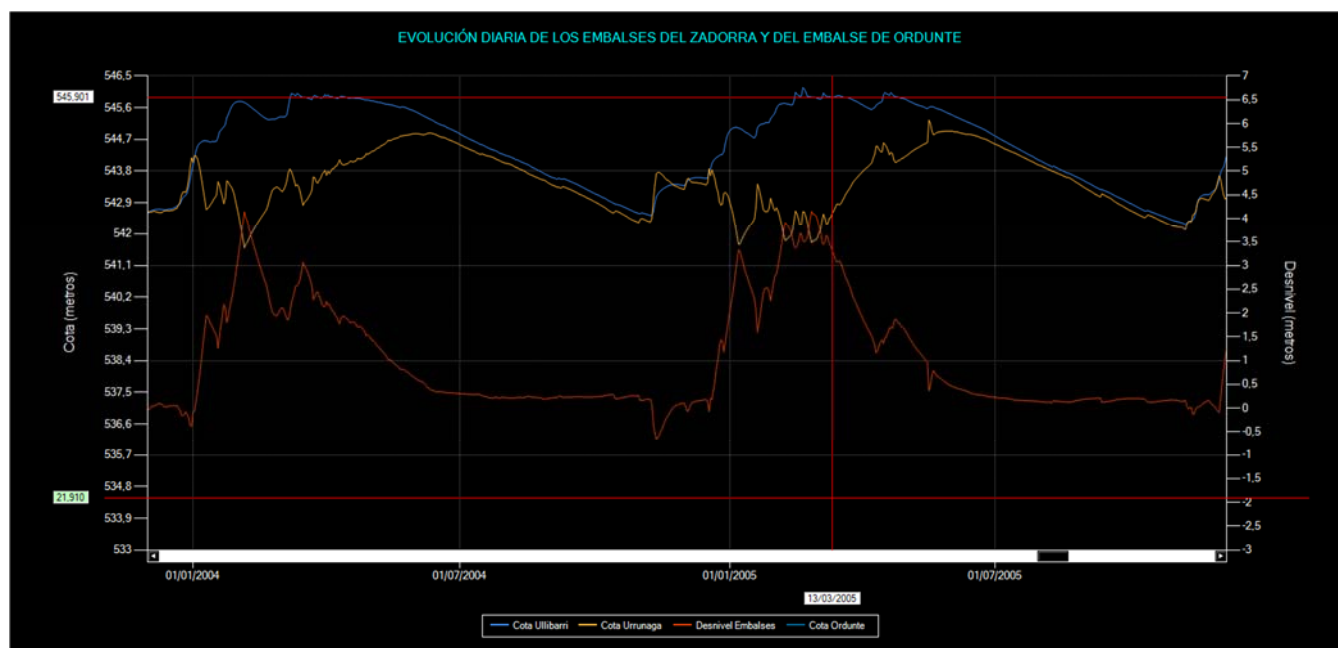
☒ Volumen Total de los Embalses	☒ Volumen Zadorra 1
☐ Cota de los Embalses	☐ Cota Urnaga
☐ Vertidos de los Embalses	☐ Volumen Ordunte 1
☐ Aportaciones a los Embalses	☐ Cota Ordunte

Cota de los embalses

Elegimos para ello el “Check” de Cota de los Embalses

Elección gráficas

☐ Volumen Total de los Embalses	☒ Cota Ulibarri
☒ Cota de los Embalses	☐ Cota Urnaga
☐ Vertidos de los Embalses	☐ Desnivel Embalses
☐ Aportaciones a los Embalses	☐ Cota Ordunte

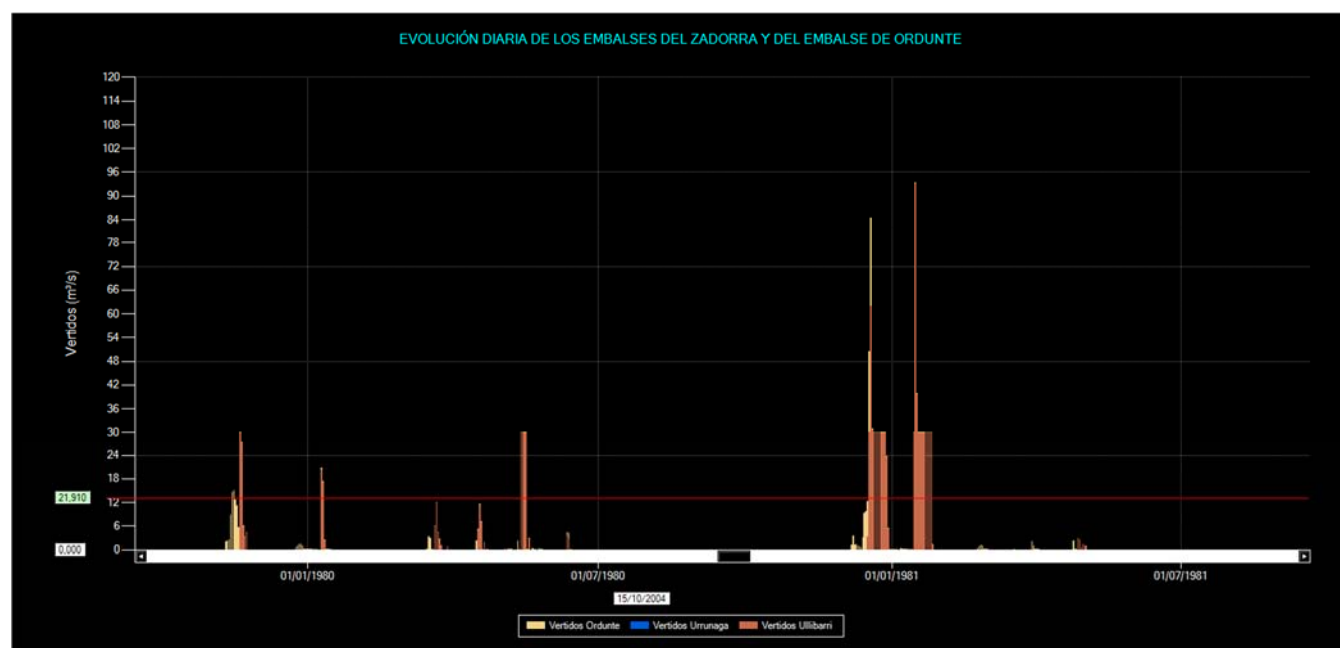


Vertidos y sobrevertidos en los embalses

Elegimos para ello el “Check” de Vertidos de los Embalses

Elección gráficas

☐ Volumen Total de los Embalses	☒ Vertido Ulibani
☐ Cota de los Embalses	☐ Vertido Umunaga
☒ Vertidos de los Embalses	☐ Vertido Ordunte
☐ Aportaciones a los Embalses	



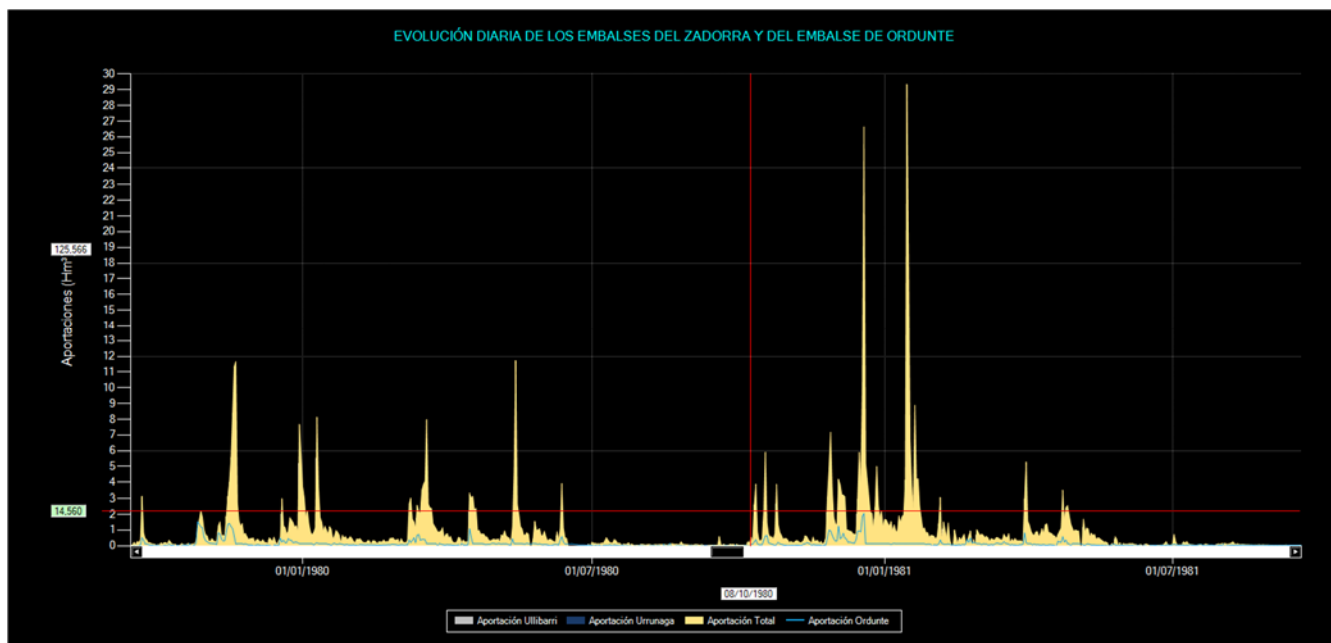
Aportaciones a los embalses

Elegimos para ello el “Check” de Aportaciones a los Embalses

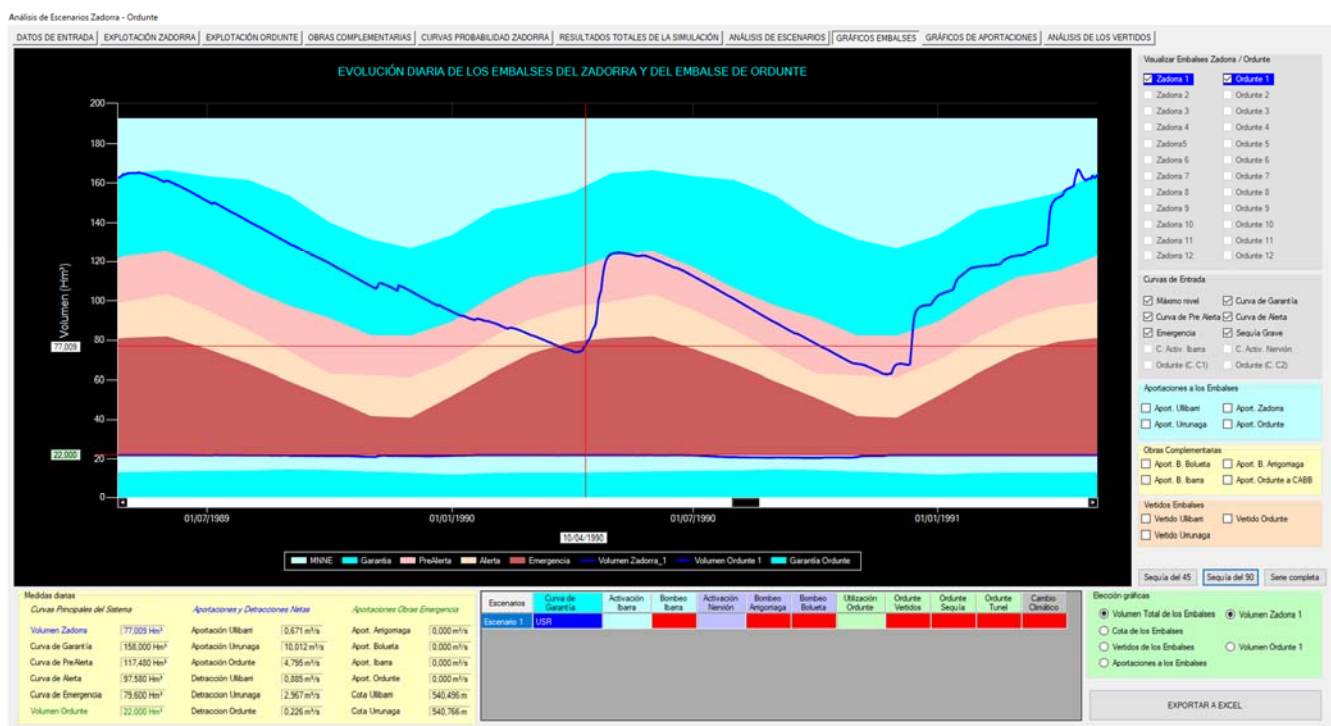
Elección gráficas

☐ Volumen Total de los Embalses	☒ Aport. Ulibani
☐ Cota de los Embalses	☐ Aport. Umunaga
☐ Vertidos de los Embalses	☐ Aport. Total
☒ Aportaciones a los Embalses	☐ Aport. Ordunte

Aquí aparecen los datos de aportaciones diarios a los embalses



Exportación de gráficos a Excel



Los gráficos que se exportarán a Excel son los correspondientes a la evolución de volumen en los embalses. Se activa pulsando el botón:

EXPORTAR A EXCEL

A continuación, aparecerá una nueva ventana para poder elegir el rango de datos que se exportará a la hoja de cálculo.

2. Prognosis de evolución de los embalses en períodos pésimos

Esta simulación pretende estimar los períodos pésimos que podrían ocurrir a partir de una situación dada, que sería la situación actual de los embalses o cualquier otra que se considere oportuno simular.

Los parámetros de entrada serían los siguientes:

- Volumen inicial de los embalses
- Rango del período pésimo a estudiar (en número de meses)
- Día de comienzo de la simulación. Por defecto es el día actual.

El cálculo del período pésimo y los sucesivos se realiza por medio del volumen de aportaciones al sistema siendo el de menor aportación el primer período pésimo y así sucesivamente. Esto se puede ver en la caja de “período pésimo”



Período Pésimo

Comienzo Período	jueves, 8 sep. 1988
Fin Período	lunes, 10 dic. 1990
Aportación Ullibari	127,45 Hm³
Aportación Umunaga	126,74 Hm³
Aportación Total	254,18 Hm³
Aportación Media	0,309 Hm³/día

< ☐ > Primer periodo

Una vez elegido el período pésimo deseado podemos ver la curva de evolución de los embalses pulsando el botón **SIMULAR PERÍODO PÉSIMO**.

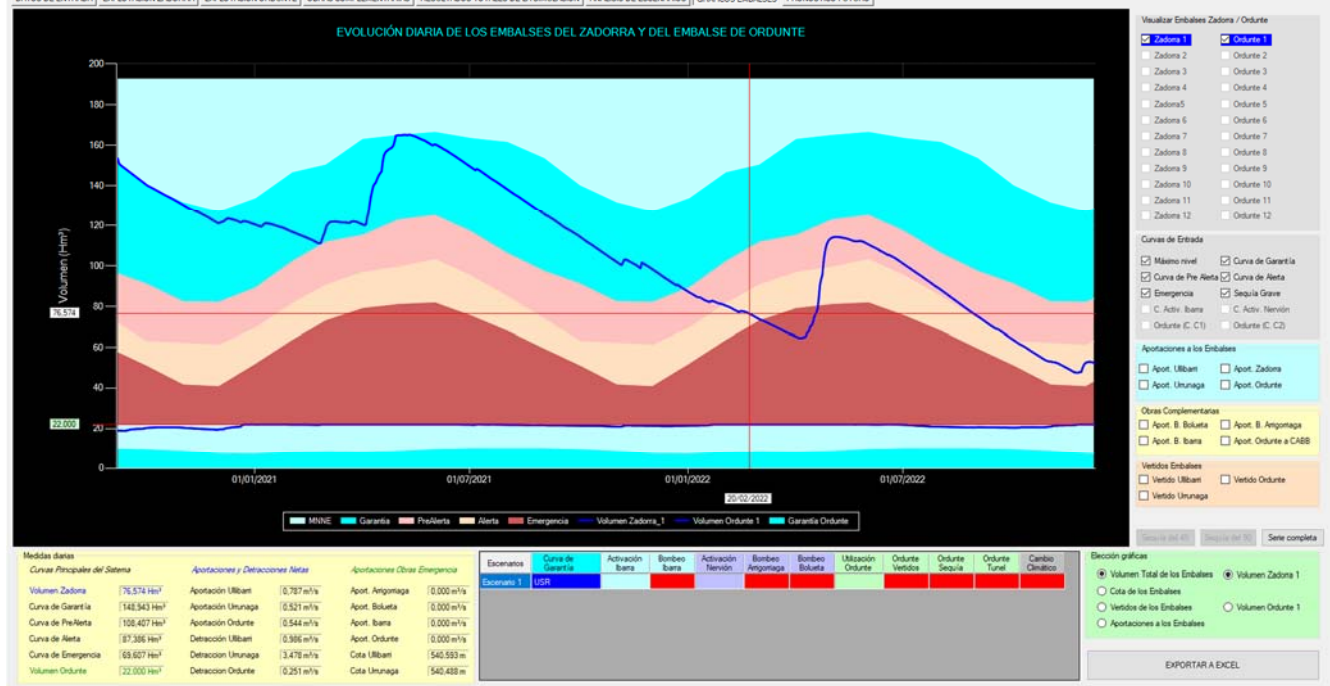
	Escenario 1
Escenario	1-0-0-0
Día comienzo Simulación	07/09/1988
Detrasación Ordunte (Bibao) m³/hag	0.163 m³/s
Detrasación Ununaga (Bibao) m³/hag	3.355 m³/s
Detrasación Urbani (Bibao) m³/hag	0.66 m³/s
Curva de Explotación Garantía	USR
Curva Activación Bombeo Ibaña	NO
Aportación Máxima Bombeo Ibaña (m³/s)	NO
Funcionamiento medio del B. Ibaña (días/año)	0 días
Curva Activación Nervión	NO
Aportación Máxima Bombeo Bolueta (m³/s)	NO
Funcionamiento medio del B. Bolueta (días/año)	0 días
Aportación Máxima Bombeo Angotzaga (m³/s)	NO
Funcionamiento medio del B. Angotzaga (días/año)	0 días
Simulación con Cambio Climático	NO
Volumen mínimo Zadorra He³	47.551 He³
Días vertido máximo al año U.R.	0 días
Sobrevivido: días - cantidad	3 - 115.670 m³/s
Vol. Max. Ordunte	22 He³
Vol. Min. Ordunte	18.33 He³
Caudal Máximo Depuración Sotano	1.2 m³/s
Aprovechamiento de Aguas Reas en Ordunte	NO
Utilización conjunta Ordunte - Zadorra	NO
Curvas C1 y C2: Tipo - Valor C1 / Valor C2	NO
Caudal Aportado C1 y C2 (m³/s)	NO
Curva de Probabilidad Ordunte (t)	NO
Volumen Vertidos en Ordunte (He³/año)	24.360
Volumen Tutelación en Ordunte (He³/año)	5.788
Periodos en situación de Alerta (días totales)	151 días
Periodos en situación de Alerta (días y periodo pésimo)	1 - 64 días
Periodos en situación de Emergencia (días totales)	48 días
Periodos en situación de Emergencia (días y periodo pésimo)	1 - 43 días

2:120 días No Incumple Ningún Análisis
2:120 días Incumple Análisis Diario
2:120 días Incumple Análisis Mensual
2:120 días Incumple Análisis Anual

DIARIO: 06/09/2020 - 09/12/2022

MENSUAL: 01/1944 - 12/2018

Generación de Hojas Excel



Por otra parte, y como ayuda complementaria a la decisión de qué período pésimo a elegir, se ha implementado en la aplicación un botón que calcula los volúmenes mínimos en el Zadorra, pudiendo elegir el que resulte más restrictivo.

CÁLCULO DE LOS VOLUMENES MÍNIMOS EN EL SISTEMA ZADORRA

Id	Fecha Inicio	Fecha Fin	Aportación Total	Volumen Mínimo Zadorra
1	08/09/1988	10/12/1990	254,18	47,55
2	09/09/1945	11/12/1947	356,68	81,86
3	09/09/1946	10/12/1948	359,42	74,17
4	09/09/1999	10/12/2001	408,25	96,71
5	09/09/1955	10/12/1957	418,39	92,76
6	09/09/1947	10/12/1949	430,44	66,92
7	09/09/2010	10/12/2012	434,86	97,18
8	09/09/1954	10/12/1956	444,33	66,38
9	08/09/2000	10/12/2002	452,94	76,01
10	08/09/1956	10/12/1958	472,63	92,76

Si se quiere ordenar dicha tabla por volúmenes, basta con clicar en la cabecera y columna deseada.

CÁLCULO DE LOS VOLUMENES MÍNIMOS EN EL SISTEMA ZADORRA

Id	Fecha Inicio	Fecha Fin	Aportación Total	Volumen Mínimo Zadorra
1	08/09/1988	10/12/1990	254,18	47,55
8	09/09/1954	10/12/1956	444,33	66,38
6	09/09/1947	10/12/1949	430,44	66,92
37	09/09/1953	11/12/1955	592,24	69,39
11	09/09/1989	11/12/1991	473,38	69,59
27	09/09/2005	11/12/2007	536,49	73,27
3	09/09/1946	10/12/1948	359,42	74,17
22	09/09/1994	10/12/1996	524,88	74,91
9	08/09/2000	10/12/2002	452,94	76,01
30	09/09/1993	11/12/1995	552,39	78,71

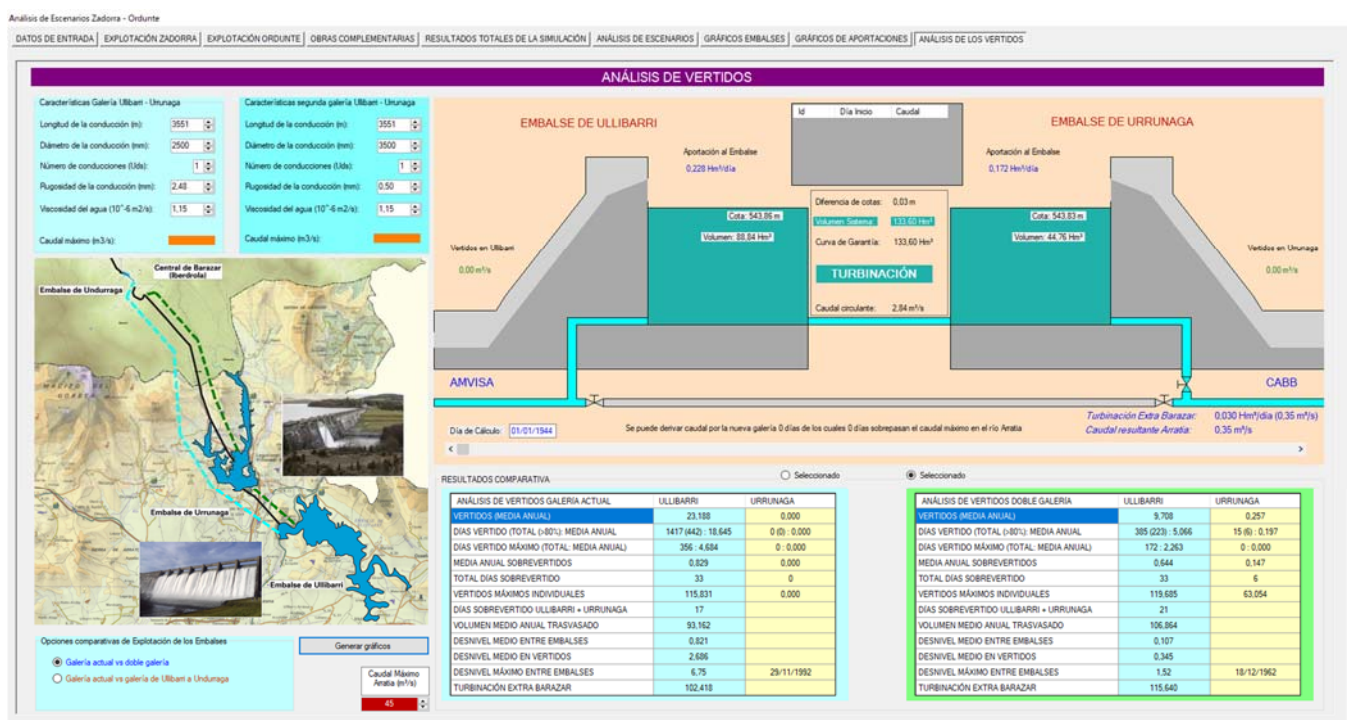
3. Análisis de los vertidos. Prognosis con nuevas infraestructuras.

En esta simulación se analizan los vertidos en ambos embalses bajo distintas hipótesis de cálculo y se realiza una comparativa entre ambas. Las hipótesis de cálculo radican en la capacidad de trasvase entre los embalses de Ullibarri y Urrunaga.. Se han propuesto dos comparativas a estudiar:

- Galería actual contra doble galería.
- Galería actual contra nueva galería entre Ullibarri y Undurruga.

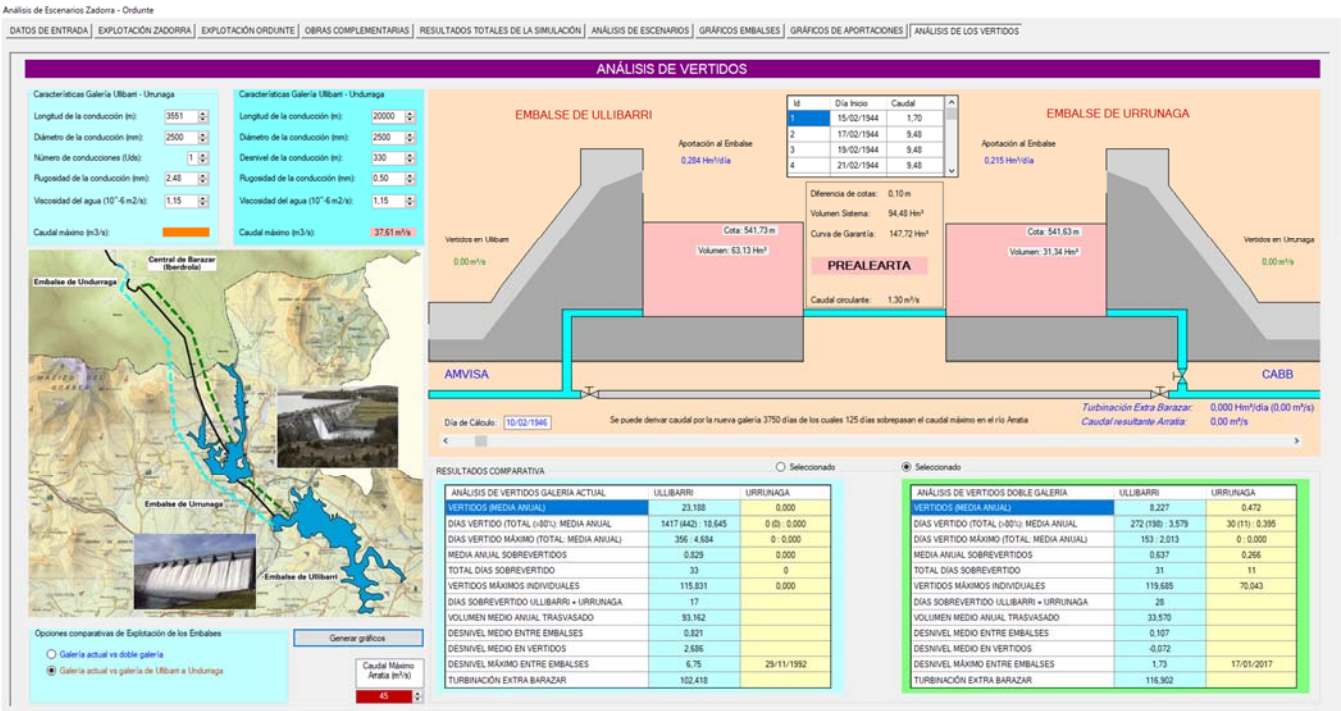
Galería actual frente a doble galería

Se trata de simular los niveles de vertido y sobrevertido que ocurren en la actualidad en ambos embalses y compararlos con los que se producirían se existiera una segunda galería de comunicación entre dichos embalses.



Galería actual frente a nueva galería entre Ullibarri y Barazar

En esta comparativa se analizan los vertidos actuales con los que se producirían en el caso de habilitar una nueva conducción entre el embalse de Ullibarri y el embalse de Undurruga



Los vertidos que se derivan por la nueva galería se presentan en una tabla adjunta en el que el valor del caudal es el acumulado en el río Arratia resultado de añadir el caudal derivado por la galería y el caudal aportado por el río.

Id	Día Inicio	Caudal
1	15/02/1944	1.70
2	17/02/1944	9.48
3	19/02/1944	9.48
4	21/02/1944	9.48

Por otro lado, se indica un valor crítico de caudal máximo en el Arratia en previsión de inundaciones en su cuenca. El criterio que se debe seguir en cuanto a este valor crítico o máximo es el siguiente:

El proceso para la determinación razonada de los valores máximos de caudal que es posible evacuar de la presa de Undurruga que inician daños en el cauce aguas abajo. En este sentido, se definen los denominados caudales característicos de la siguiente forma:

- Caudal Q1: Caudal admitido por el cauce natural. Corresponde a un rango de caudales comprendido entre el caudal mínimo a partir del cual el cauce se desborda en algún punto y un caudal a partir del cual se puede considerar que se desborda de manera generalizada.
- Caudal Q2: Caudal que afecta a varias viviendas aisladas, a zonas agrícolas importantes y a infraestructuras secundarias. Corresponde a un rango de caudales comprendido entre el mínimo que empieza a afectar a algún elemento del tramo (cualitativa o cuantitativamente)
- Caudal Q3: Caudal que afecta a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) y a infraestructuras importantes. Corresponde al caudal que empieza a afectar a algún núcleo urbano o a infraestructuras importantes.

Los modelos desarrollados son los siguientes para los períodos de retorno de 10, 100, 500 y 1000 años:

- Tramo Zeanuri, representativo del Arratia desde Zeanuri hasta la confluencia con el Indusi.
- Tramo Igorre, representativo del Arratia hasta aguas arriba de la confluencia con el Indusi.
- Tramo Bolumburo – Lemoa, representativo del Ibaizabal desde la confluencia con el Arratia hasta Lemoa.
- Tramo Basauri – Galdakao, representativo del Ibaizabal desde Lemoa hasta La Peña.
- Tramo Bilbao, representativo de la ría d Bilbao desde La Peña hasta El Abra.

Los valores máximos de vertido a través de la presa de Undurruga obtenidos fueron los siguientes:

Caudal Q1: 45 m³/s

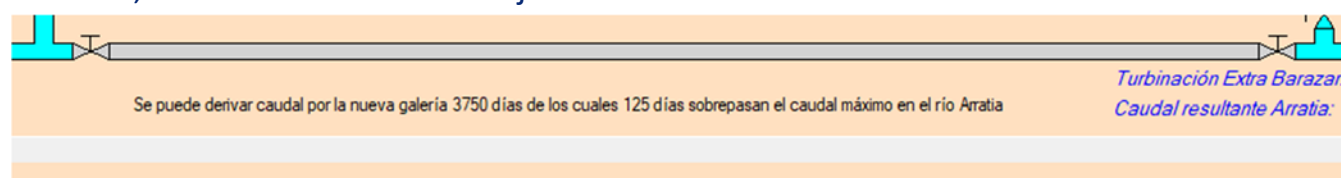
Caudal Q1: 60 m³/s

Caudal Q1: 80 m³/s

Cuando se supere este valor crítico los valores de caudal aparecerán en color rojo en la tabla adjunta.

Id	Día Inicio	Caudal
2.023	14/12/1982	68,54
2.024	15/12/1982	50,06
2.025	17/12/1982	45,92
2.026	19/12/1982	55,82

Además, se indicará en un mensaje de texto los resultados obtenidos



Hay que indicar, por otro lado, que para esta simulación no se tienen todos los valores de aportaciones al río Arratia desde el comienzo de la serie histórica (1944) sino desde el año 1980 hasta la actualidad. Por tanto, los resultados de caudal obtenidos desde el año 1944 hasta el año 1979 sólo son debidos al volumen trasvasado por la nueva galería.

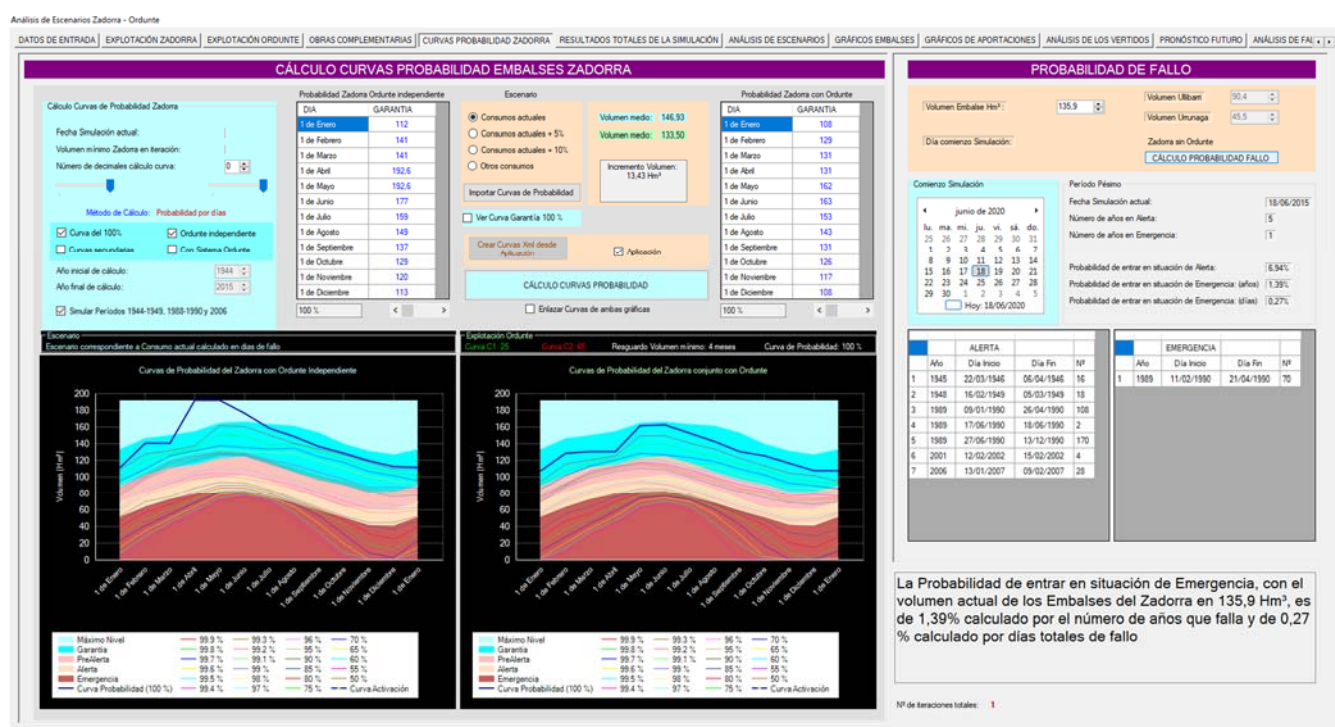
4. Análisis de probabilidades en el abastecimiento. Mapas de probabilidad.

Este procedimiento está diseñado para el cálculo de las curvas de probabilidad y de garantía de los embalses del Zadorra.

Conceptos previos:

Curva de probabilidad del 100%: Curva que define el volumen mínimo necesario en los embalses con el objeto de no entrar en ningún caso en la curva de emergencia (restricciones), calculada para una demanda determinada y con una curva de explotación (garantía) ya fijada.

Curva de garantía 100%: Curva de explotación que garantiza que el volumen de los embalses sea siempre superior al volumen de la curva de emergencia, calculada para una demanda determinada.



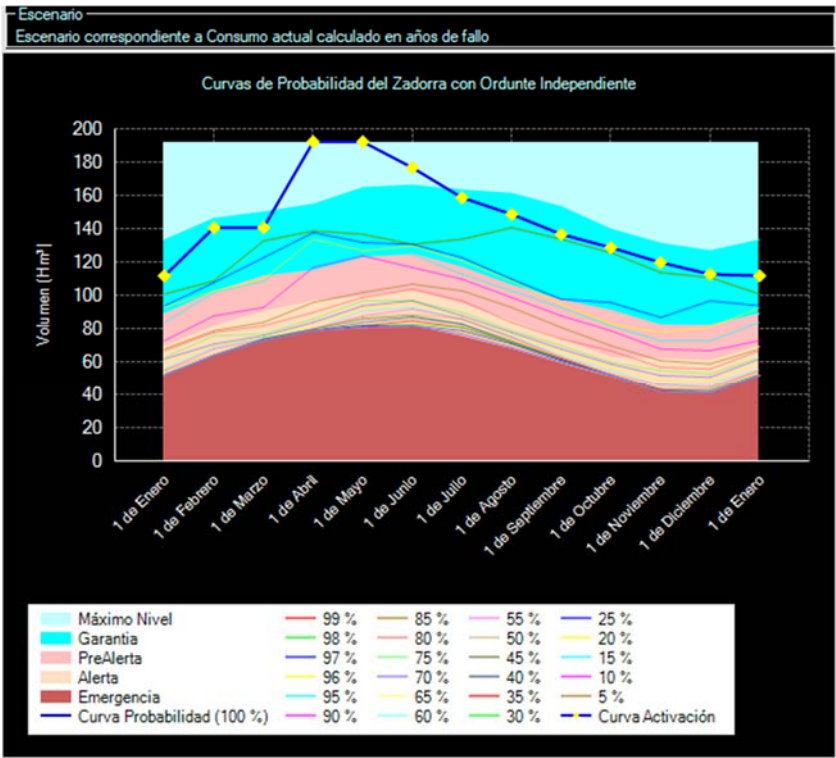
Para estos cálculos se ha considerado lo siguiente:

Como norma general para todas las curvas, se calcula para el primer día de cada mes, obteniendo así 12 valores que conforman cada una de ellas.

Para el cálculo de las **curvas de probabilidad** se comienza la simulación el primer día de enero del primer año que se conocen datos de aportaciones, el 01/01/1944. A continuación, se procede a buscar el volumen necesario para que con las aportaciones de ese año no se entre en emergencia. El proceso se calcula bien hasta que se alcance la curva de garantía o haya transcurrido un año completo. Después se itera partiendo del día 01/01/1945, y así sucesivamente hasta el primer día de enero del último año que se tengan datos de aportaciones. El máximo valor obtenido será el primer valor de la curva de probabilidad. Este proceso se repite para cada primero de mes obteniendo la curva completa. Esta curva corresponderá a la curva de probabilidad del 100%.

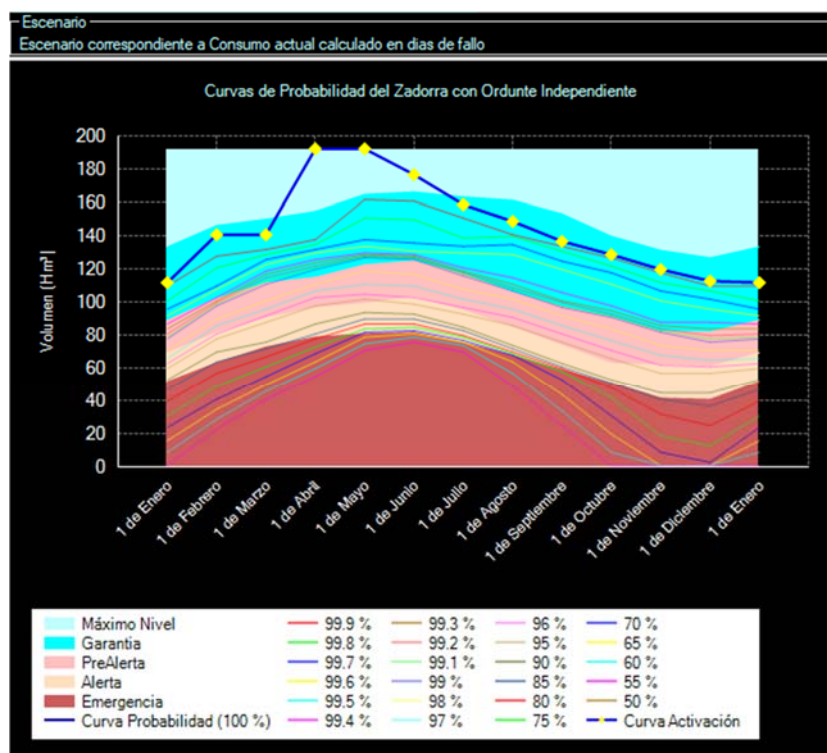
Para el cálculo de las sucesivas curvas de probabilidad, las inferiores al 100%, se realizan dos métodos iterativos:

Probabilidad por años: Se contabiliza el número de años en los que se entra en emergencia con respecto al total y se obtiene la curva de probabilidad correspondiente a ese porcentaje de fallo. Si consideramos que el número de años de estudio es 76 (de 1944 a 2019), la curva de probabilidad del 95% correspondería a aquella en la que se entrara en emergencia el 5% de los 76 años de estudio (aproximadamente 4 años). Esto se realiza para los 12 valores que conforman la curva.



Mapa de curvas de probabilidad calculadas por años

Probabilidad por días: El procedimiento es idéntico al anterior, salvo que se contabiliza el porcentaje de fallo en número de días. Para los años considerados en el estudio (76) corresponde a 27759 días, lo que resulta en que la curva de probabilidad del 95% sería aquella en la que se entraría en situación de emergencia el 5% de los días (aproximadamente 1388 días). El resultado es muy similar, con la particularidad de que se pueden encontrar curvas más precisas sobre todo cercanas al 100%.

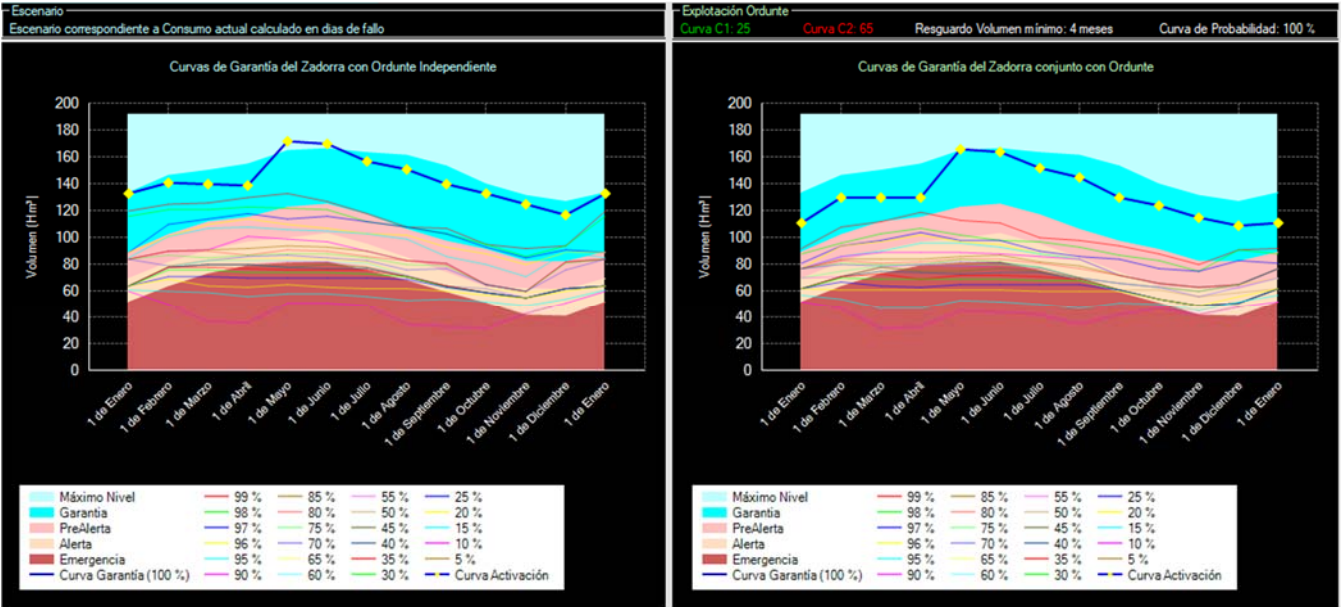


Mapa de curvas de probabilidad calculadas por días

Por otra parte, todas estas curvas se calculan con arreglo a dos situaciones claramente diferentes en la explotación de los recursos del CABB. Estas son:

- Sistema Zadorra (Ullibarri y Urrunaga) independiente del Sistema Ordunte
- Sistema conjunto de Zadorra con Ordunte. Activación de curvas C1 y C2

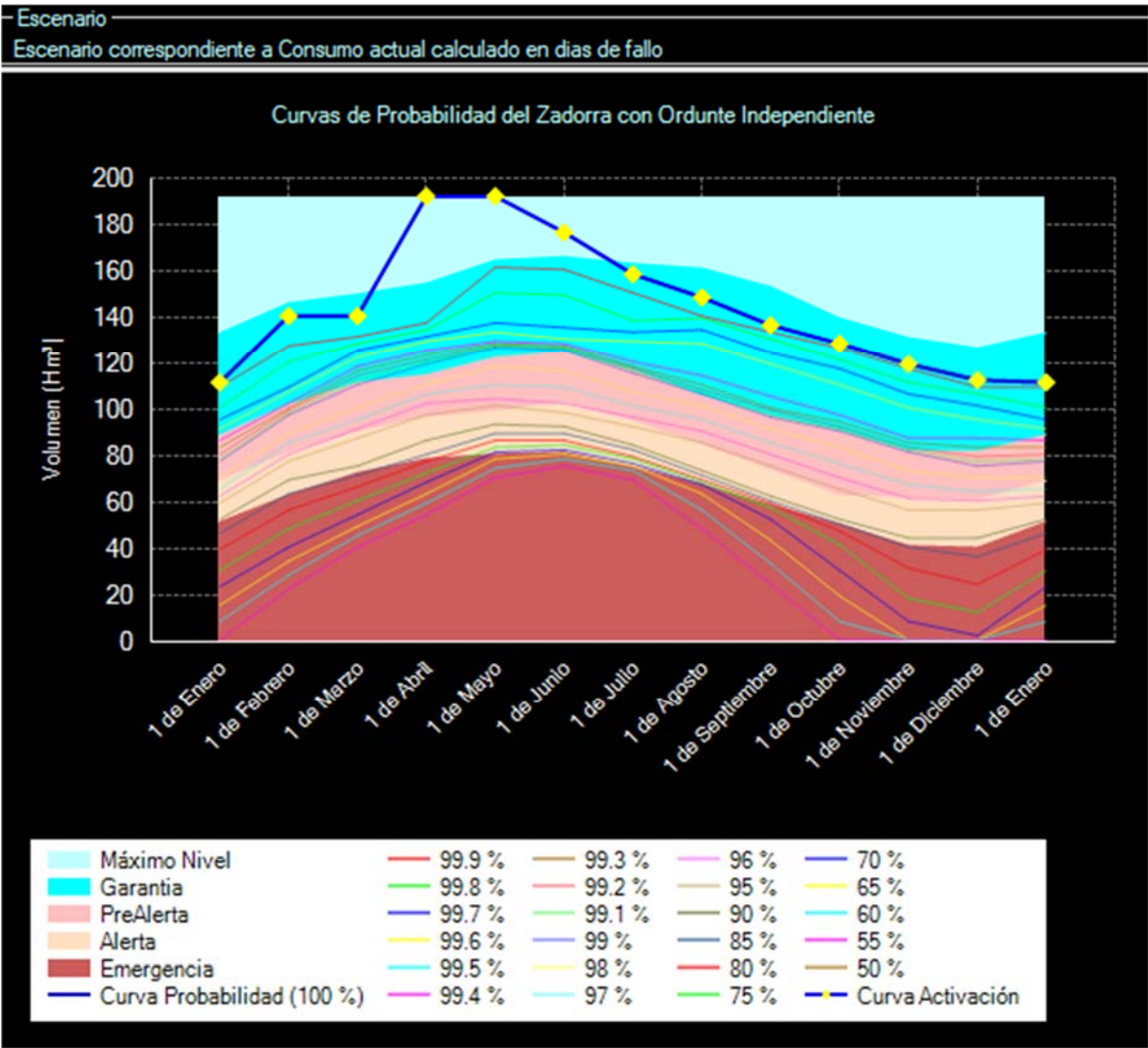
Para el cálculo de las **curvas de garantía** el proceso es diferente, ya que lo que se pretende es encontrar la curva de explotación adecuada para que no se entre nunca en situación de emergencia. Para ello se comienza la iteración, al igual que en el cálculo de las curvas de probabilidad, el primer día del primer mes, el 01/01/1944, pero con el embalse lleno, es decir se comienza con una curva de garantía que correspondería al máximo nivel normal de embalse durante todo el año, y se va disminuyendo hasta que se entra en situación de emergencia. Se itera para los días primeros de cada mes y para todos los años en los que se conocen datos y se obtiene así la curva de garantía óptima para las demandas fijadas en la aplicación.



Comparativa de curvas de garantía calculadas por días

Se propone un ejemplo aclarativo de ambos conceptos (curvas de probabilidad y de garantía).

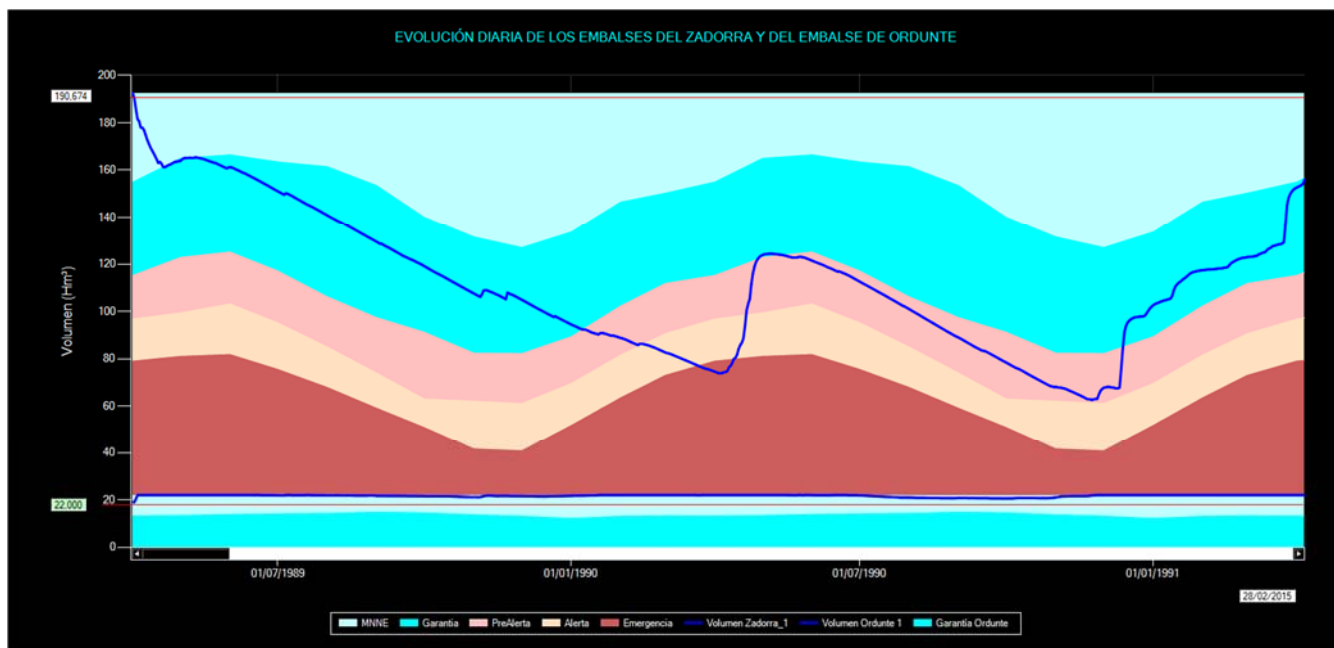
Podemos ver que con los consumos actuales la curva de probabilidad del 100% con los sistemas independientes, no se satisface para ningún volumen en los meses de abril y de mayo.



Comprobamos lo que ocurre si comenzamos la simulación el 01/04/1989 (grave sequía del 89-90) con el embalse lleno.

Fecha Inicio	☐ Volumen Inicial Manual	
Inicio Simulación	ULLIBARRI	URRUNAGA
Vol. Inic. 01/04/1989 Hm³	127.68	64.92
Volumen Máximo Hm³	127.68	64.92

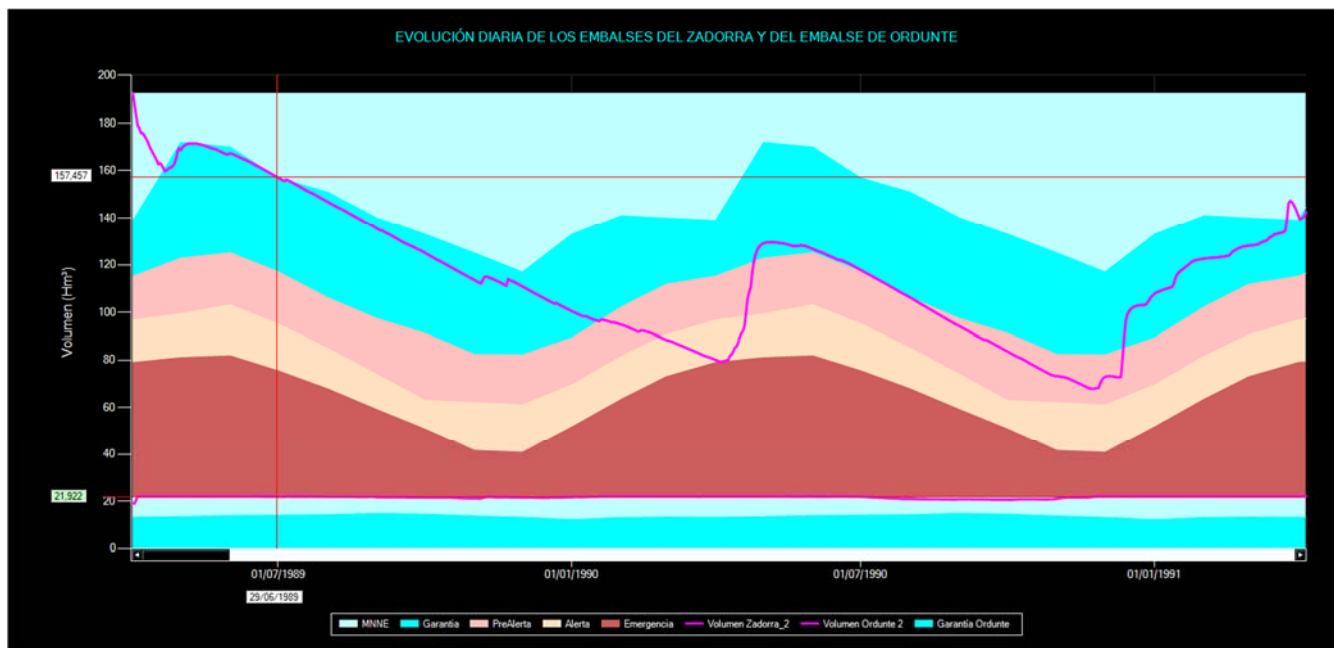
Comenzamos la simulación con el embalse lleno el 01/04/1989.



Simulación con la curva de explotación (garantía) actual. Curva de 2008

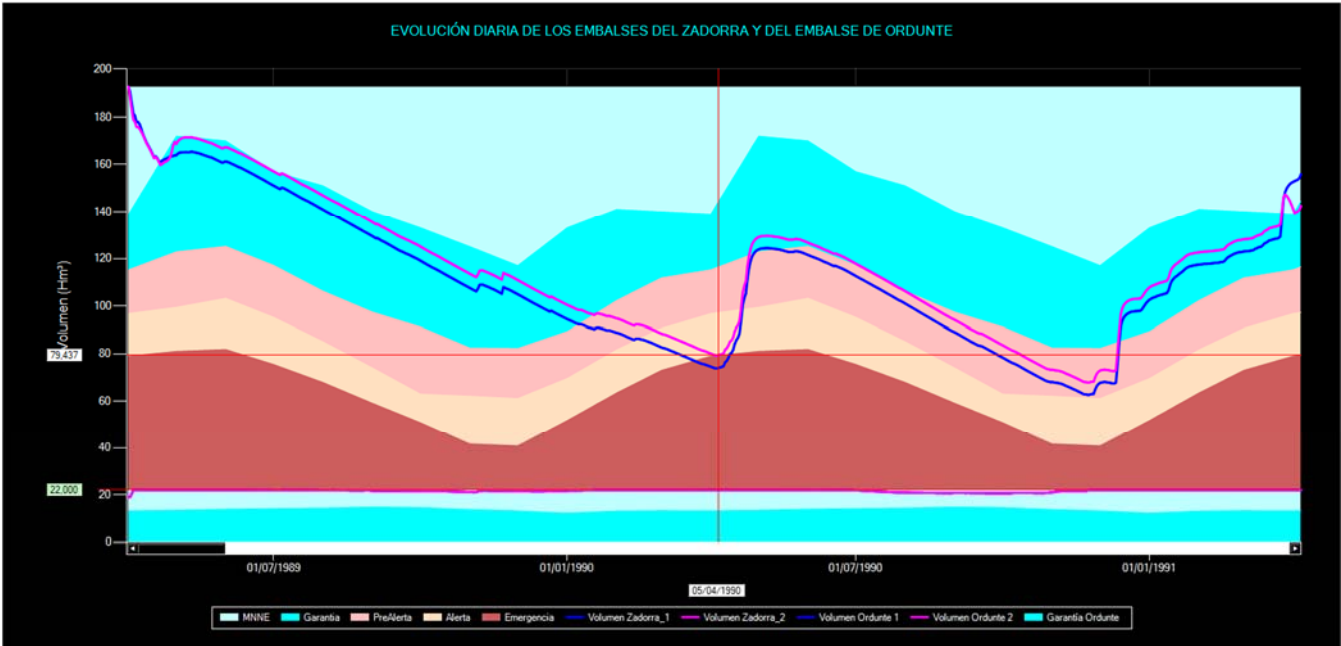
Se aprecia que, aunque se comience con las máximas reservas, las reglas de explotación del sistema provocan que se alcance la curva de garantía actual en tan solo 19 días, lo que resulta un volumen insuficiente para soportar el período seco que acontece a continuación.

Sin embargo, si modificamos la curva de garantía actual por la calculada por esta aplicación, obtenemos la siguiente curva de desembalse:

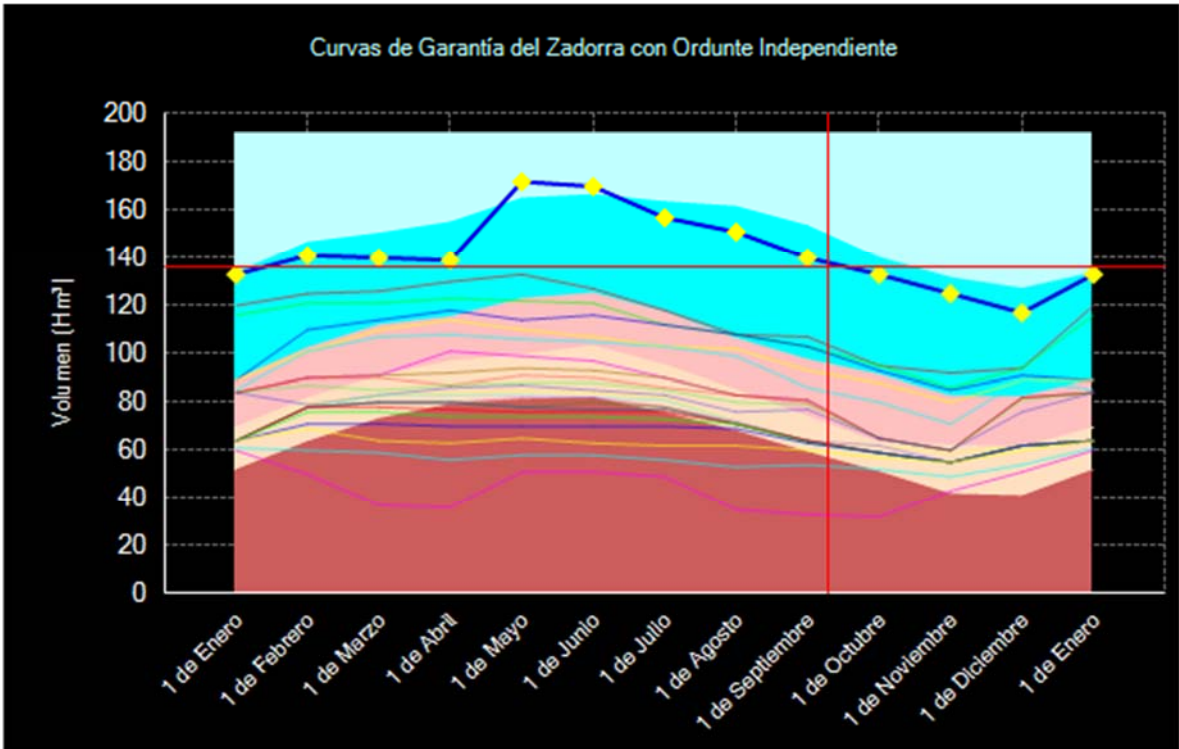


Simulación con la curva de explotación (garantía) propuesta. Curva de 100%

Se aprecia en la gráfica comparativa el aumento de reserva en el mes de mayo que proporciona los recursos hídricos suficientes para no entrar en restricciones (situación de emergencia)



Comparativa de ambas curvas (en azul, curva garantía 2008 y en fucsia, curva propuesta)



Curva de garantía 100% propuesta

Cálculo de la probabilidad de fallo

Para este cálculo se utilizará el módulo situado a la derecha de la pantalla de “Curvas de Probabilidad”

PROBABILIDAD DE FALLO

Volumen Embalse Hm³:

Día comienzo Simulación:

Volumen Ullibarri:

Volumen Urrunaga:

Zadorra sin Ordunte

Comienzo Simulación

septiembre de 2020

lu.	ma.	mi.	ju.	vi.	sá.	do.
31	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11

☐ Hoy: 09/09/2020

Periodo Pésimo

Fecha Simulación actual:

Número de años en Alerta:

Número de años en Emergencia:

Probabilidad de entrar en situación de Alerta:

Probabilidad de entrar en situación de Emergencia: (años)

Probabilidad de entrar en situación de Emergencia: (días)

		ALERTA		
	Año	Día Inicio	Día Fin	Nº
1	1988	25/01/1990	24/04/1990	90
2	1988	08/08/1990	13/12/1990	128
3	1989	23/02/1990	21/04/1990	58
4	1989	11/11/1990	29/11/1990	19
5	1989	08/12/1990	12/12/1990	5

		EMERGENCIA		
	Año	Día Inicio	Día Fin	Nº
1	1988	27/02/1990	20/04/1990	53
2	1989	28/03/1990	12/04/1990	16

La Probabilidad de entrar en situación de Emergencia, con el volumen actual de los Embalses del Zadorra en 135,9 Hm³, es de 2,78% calculado por el número de años que falla y de 0,26 % calculado por días totales de fallo

La operativa de cálculo pasa por definir en primer lugar el volumen de embalse inicial y en segundo lugar el día del año en que se quiere que inicie la simulación.

Pulsando en el botón de cálculo **CÁLCULO PROBABILIDAD FALLO** se obtendrá la probabilidad de fallo del sistema.

Hay que tener en cuenta si el sistema Zadorra se explota de forma independiente o conjunto con Ordunte. Esta particularidad se observa en la parte superior de la pantalla

This screenshot shows the simulation interface for 'Zadorra sin Ordunte'. It features two columns of input fields. The left column contains 'Volumen Embalse Hm³:' with a value of 135,9 and 'Día comienzo Simulación:'. The right column contains 'Volumen Ullibari' with a value of 90,4 and 'Volumen Urnaga' with a value of 45,5. Below these fields, the text 'Zadorra sin Ordunte' is displayed in blue, and a button labeled 'CÁLCULO PROBABILIDAD FALLO' is visible.

This screenshot shows the simulation interface for 'Zadorra con Ordunte'. It features two columns of input fields. The left column contains 'Volumen Embalse Hm³:' with a value of 135,9 and 'Día comienzo Simulación:'. The right column contains 'Volumen Ullibari' with a value of 127,7 and 'Volumen Urnaga' with a value of 64,9. Below these fields, the text 'Zadorra con Ordunte' is displayed in green, and a button labeled 'CÁLCULO PROBABILIDAD FALLO' is visible.

La elección de simular de forma independiente o conjunta ambos sistemas se realiza en la pantalla de “Obras Complementarias”

This screenshot shows the 'Opciones Explotación Embalse de Ordunte' screen. It has a green background and contains several options. At the top, it says 'Aprovechamiento Aguas Altas de Ordunte'. Below this, there are two input fields: 'Volumen Máximo:' with a value of 22,00 Hm³ and 'Volumen Mínimo:' with a value of 18,00 Hm³. At the bottom, there are two checkboxes: 'Aprovechamiento de las Aguas Altas' (unchecked) and 'Usado como Emergencia en Sequia' (checked).

5. Análisis de fallo de infraestructuras principales.

Este procedimiento es el que sirvió de base para la elaboración de los siguientes documentos redactados en mayo de 2019 por la Subdirección de Proyectos y Obras de Abastecimiento del CABB:

- Análisis de evolución de los embalses del Zadorra y del embalse de Ordunte en situación de sequía y cambio climático (200 - 03 / 19 – EP – 902)
- Análisis de soluciones al fallo en las infraestructuras de transporte del sistema Zadorra – Venta Alta (200 – 05 / 19 - EP – 903)

Anexo 1. Simulación del Cambio Climático

SIMULACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

RCP 4.5

	Cambio Anual (%)	Mx	Med	Mn
☒	2010-2040	5	-3	-10
☐	2040-2070	-7	-12	-18
☐	2070-2100	-5	-10	-17

RCP 8.5

☐	2010-2040	-1	-7	-12
☐	2040-2070	-6	-13	-21
☐	2070-2100	-1	-26	-38

Ante un escenario de posible cambio climático modificaremos las aportaciones a los embalses y a los ríos en base a los factores que aconseja el estudio del IPCC. Hacemos notar que, aunque los embalses de Ullibarri y Urrunaga pertenecen al ámbito hidrográfico del Ebro, tanto el embalse de Ordunte como las tomas de los bombeos de Ibarra, Bolueta y Arrigorriaga pertenecen al ámbito del Cantábrico Oriental, por lo que elegimos los datos de este último para dicho cálculo.

ESCORRENTÍA Cambio Anual (%)		RCP 4.5			RCP 8.5		
		Mx	Med	Mn	Mx	Med	Mn
España	2010-2040	20	-3	-13	4	-7	-14
	2040-2070	-1	-11	-23	9	-14	-29
	2070-2100	4	-13	-31	-1	-24	-43
Miño-Sil	2010-2040	11	-3	-10	2	-6	-14
	2040-2070	-3	-11	-16	4	-11	-18
	2070-2100	4	-10	-21	-2	-19	-29
Galicia Costa	2010-2040	10	-3	-10	1	-6	-14
	2040-2070	-4	-11	-16	2	-11	-17
	2070-2100	2	-10	-19	-4	-19	-29
Cantábrico Oriental	2010-2040	5	-3	-10	-1	-7	-12
	2040-2070	-7	-12	-18	-6	-13	-21
	2070-2100	-5	-10	-17	-15	-26	-38
Cantábrico Occidental	2010-2040	8	-2	-8	-2	-6	-9
	2040-2070	-3	-10	-14	-3	-12	-21
	2070-2100	-4	-10	-18	-9	-23	-34
Duero	2010-2040	25	-3	-15	6	-9	-19
	2040-2070	1	-13	-27	15	-15	-31
	2070-2100	9	-14	-36	3	-25	-46
Tajo	2010-2040	31	-3	-22	12	-8	-20
	2040-2070	3	-11	-29	19	-15	-34
	2070-2100	12	-14	-40	7	-25	-51
Guadiana	2010-2040	46	-3	-35	18	-9	-30
	2040-2070	9	-12	-36	33	-18	-45
	2070-2100	22	-17	-50	15	-30	-63
Guadalquivir	2010-2040	52	-2	-38	18	-10	-30
	2040-2070	15	-10	-37	35	-18	-51
	2070-2100	18	-19	-51	13	-32	-67

ESCORRENTÍA		RCP 4.5			RCP 8.5		
Cambio Anual (%)		Mx	Med	Mn	Mx	Med	Mn
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2010-2040	43	-3	-33	12	-11	-25
	2040-2070	11	-8	-36	20	-20	-47
	2070-2100	6	-20	-49	4	-31	-65
Guadalete y Barbate	2010-2040	48	-4	-38	15	-11	-31
	2040-2070	14	-10	-37	31	-20	-51
	2070-2100	12	-20	-52	7	-33	-67
Tinto, Odiel y Piedras	2010-2040	54	-2	-36	14	-11	-36
	2040-2070	15	-10	-37	34	-20	-51
	2070-2100	25	-18	-50	21	-29	-65
Segura	2010-2040	15	-7	-22	12	-9	-23
	2040-2070	-1	-11	-32	-3	-23	-48
	2070-2100	-6	-20	-43	-17	-38	-63
Júcar	2010-2040	21	-4	-26	15	-11	-25
	2040-2070	-4	-12	-34	-7	-24	-49
	2070-2100	-7	-21	-46	-20	-36	-62
Ebro	2010-2040	15	-2	-12	-2	-7	-10
	2040-2070	-5	-11	-19	4	-13	-25
	2070-2100	-3	-12	-25	-10	-26	-40
Cuencas Internas de Cataluña	2010-2040	24	6	-9	6	-4	-17
	2040-2070	6	-4	-13	4	-8	-22
	2070-2100	8	-8	-20	-3	-19	-31
Islas Baleares	2010-2040	8	-7	-26	-3	-16	-40
	2040-2070	6	-13	-39	-19	-31	-56
	2070-2100	-4	-24	-52	-28	-42	-69
Canarias	2010-2040	25	-6	-27	7	-14	-32
	2040-2070	22	-10	-26	14	-25	-46
	2070-2100	-11	-26	-44	3	-34	-60

Según el Informe Técnico elaborado por la Oficina Española de Cambio Climático para la “Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España”, resumimos en los siguientes párrafos una somera explicación de la tabla aquí expuesta

PROYECCIONES CLIMÁTICAS DISPONIBLES

Un escenario climático se obtiene simulando el clima global con un modelo de circulación general, o modelo climático global, (MCG) al cual se le ha dado una hipótesis determinada de escenario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El IPCC pone a disposición pública un conjunto de escenarios climáticos elaborados a escala global por diferentes organismos.

No obstante, la escala de esos escenarios climáticos globales es muy baja para ser utilizada en los estudios de impacto, por lo que es necesario proceder a su regionalización. De ese modo se obtienen los denominados escenarios climáticos regionalizados, también llamados a veces proyecciones climáticas. En consecuencia, en este trabajo se utilizará el término “proyección climática” para identificar un escenario climático generado por un MCG, bajo un escenario de emisiones determinado y regionalizado mediante una técnica dada de proyección local. Cada

proyección climática es una hipótesis climática que es susceptible de ser analizada para estudiar los impactos que producirá, entre otros, sobre el ciclo del agua, que es el caso de este trabajo.

Para el AR5 (IPCC 2013) se trabajó con un conjunto de nuevos MCG, tanto MCGAO como ESM (Figura 2). Los MCG acoplados Atmósfera-Océano (MCGAO o AOGCM en inglés) simulan la dinámica de los componentes físicos del sistema climático (atmósfera, océano, tierra y capa de hielo). Los Modelos del Sistema Terrestre ESM (del inglés, Earth System Models) son más completos e incluyen la representación de varios ciclos bioquímicos como aquéllos implicados en el ciclo del carbono, del azufre o del ozono.

También para el AR5 se han definido cuatro nuevos escenarios de emisiones, las denominadas Sendas Representativas de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés). Éstas se identifican por su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varía desde 2.6 a 8.5 W/m² (Figura 3). Los cuatro RCP son: RCP2.6, RCP 4.5, RCP6.0 y RCP 8.5. Cada RCP tiene asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminantes (clasificadas por sectores), de emisiones y concentraciones de GEI y de usos de suelo hasta el año 2100, basada en una combinación de modelos de distinta complejidad de la química atmosférica y del ciclo del carbono (IPCC 2013). Los RCP suponen un avance con respecto a los escenarios de emisiones utilizados en anteriores informes del IPCC (denominados SRES) ya que los nuevos RCP pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI

Proceso de cálculo para evaluación del cambio climático

Este proceso se realiza para cada período anual desde el primer año de la serie 1944 hasta la actualidad. Para exponer el proceso de cálculo empleado elegimos un año seco como el de 1990 de las aportaciones del Zadorra al embalse de Ullibarri.

Apuntar, además que lo realizado a continuación para una serie de aportaciones a los embalses del Zadorra es también de aplicación a las aportaciones en los lugares de captación de los bombeos de Bolueta, Arrigorriaga e Ibarra, así como a las aportaciones al embalse de Ordunte.

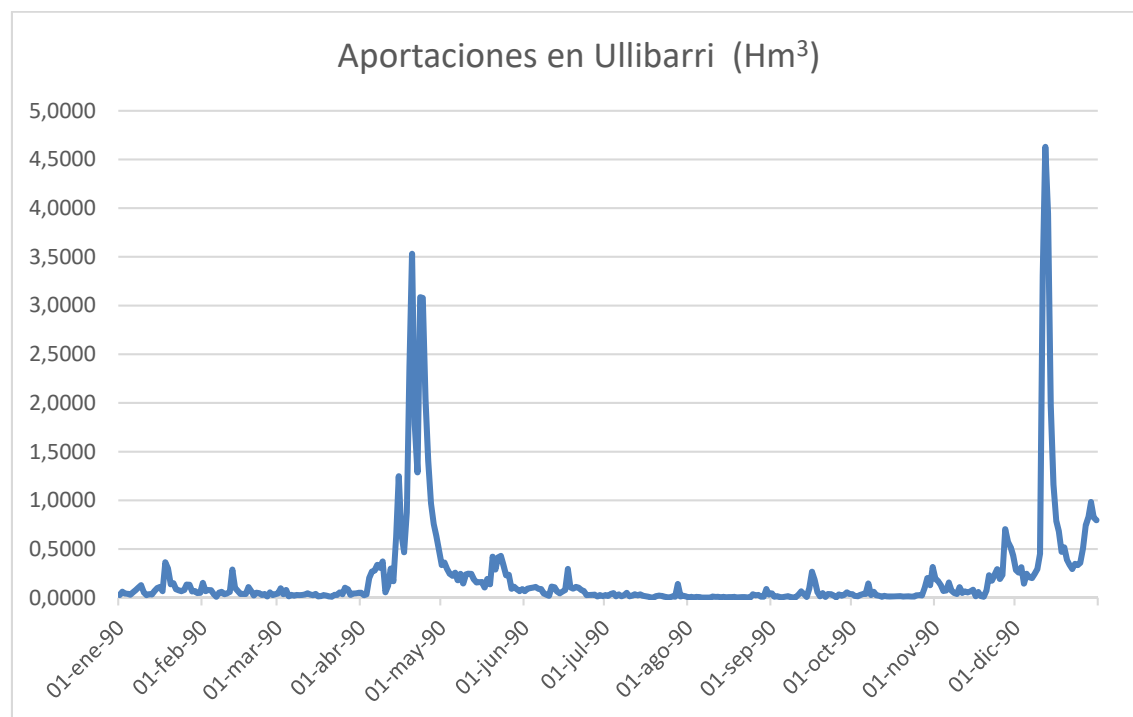
Tomamos como ejemplo el cambio de escorrentía de la tabla anterior para un RCP 4.5 y el período de 2040 a 2070. Esto da los siguientes factores de corrección para las escorrentías:

Mx (Máximo):	-7%	"La aportación máxima de la serie disminuirá en un 7%"
Med (Medio)	-12%	"La aportación media de la serie disminuirá en un 12%"
Min (Mínimo)	-18%	"La aportación mínima de la serie disminuirá en un 18%"

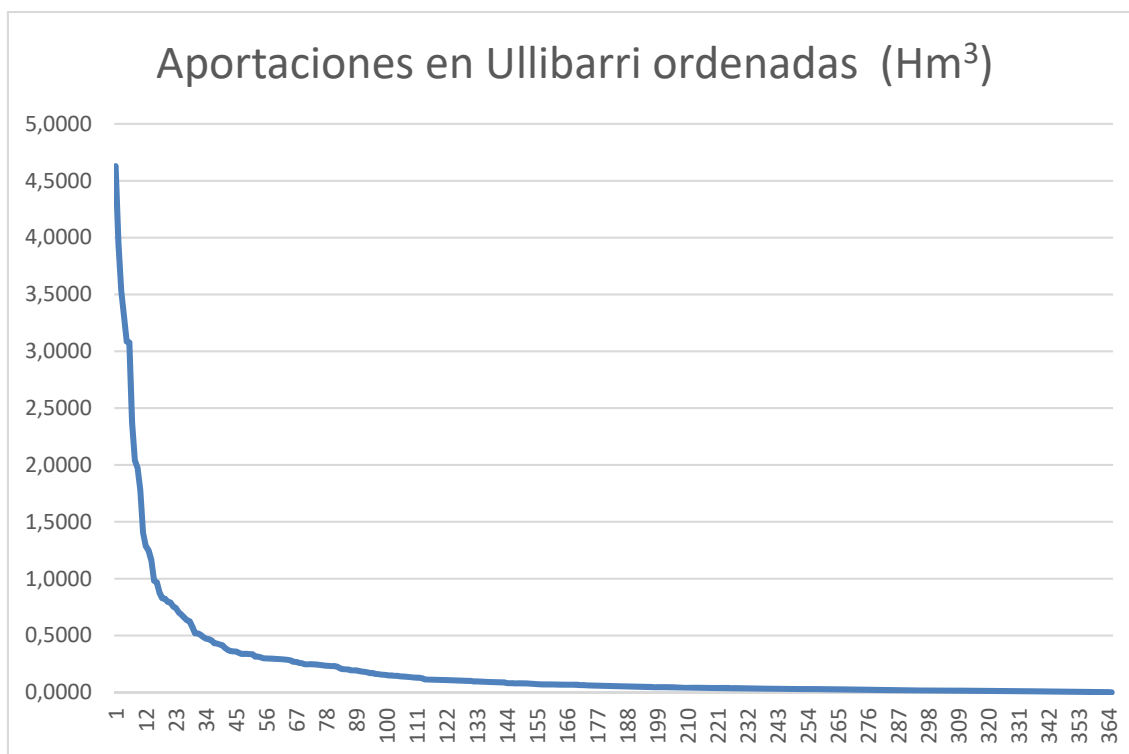
O lo que es lo mismo, para obtener el factor multiplicativo a cada valor de aportación.

Para el máximo obtenemos un factor de $(1-7\%) = 0,93$	$f_1=0,93$
Para el medio obtenemos un factor de $(1-12\%) = 0,88$	$f_2=0,88$
Para el mínimo obtenemos un factor de $(1-18\%) = 0,82$	$f_3=0,82$

Aportaciones en Ullibarri en el año 1990:



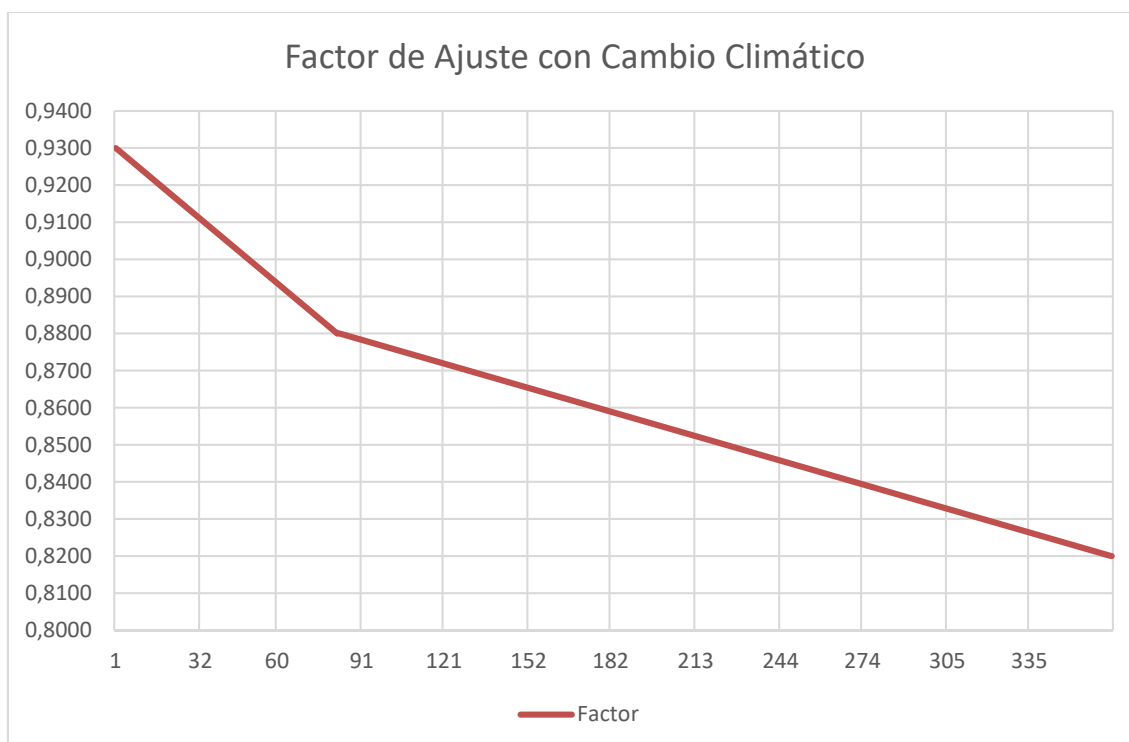
Seguidamente ordenamos de mayor a menor las aportaciones diarias de este año obteniendo el siguiente gráfico:



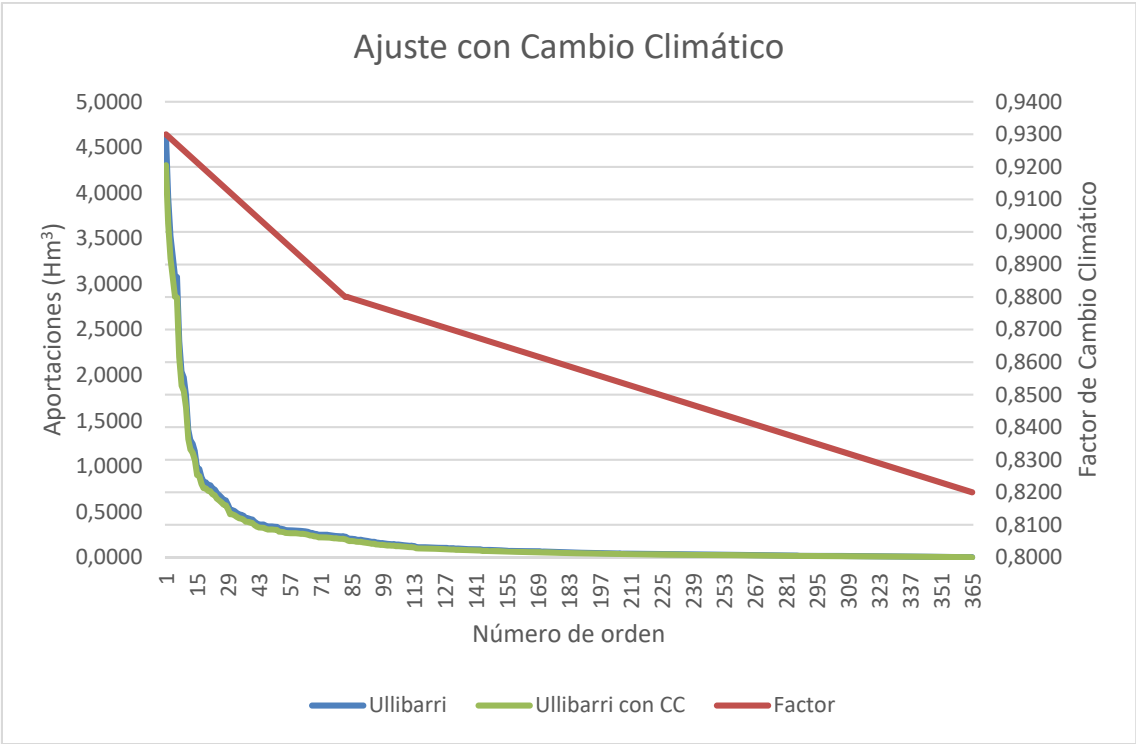
A partir de este gráfico, obtenemos el valor máximo, el medio y el mínimo, pero sobre todo la posición en la que se encuentra el valor medio ya que los factores de cambio de escurrimiento se encuentran en dos rectas que hay que interpolar con cada serie. La primera es la que va desde el factor (Mx) hasta el factor (Med) y la segunda desde el valor (Med) hasta el factor (Min).

En este caso el valor medio se encuentra entre los valores 82 y 83 de la serie, es decir desde el primer valor (máximo) hasta el valor más cercano al medio (0,2161) hay 82 valores y entre este y el mínimo los restantes hasta los 365 del año (283 valores).

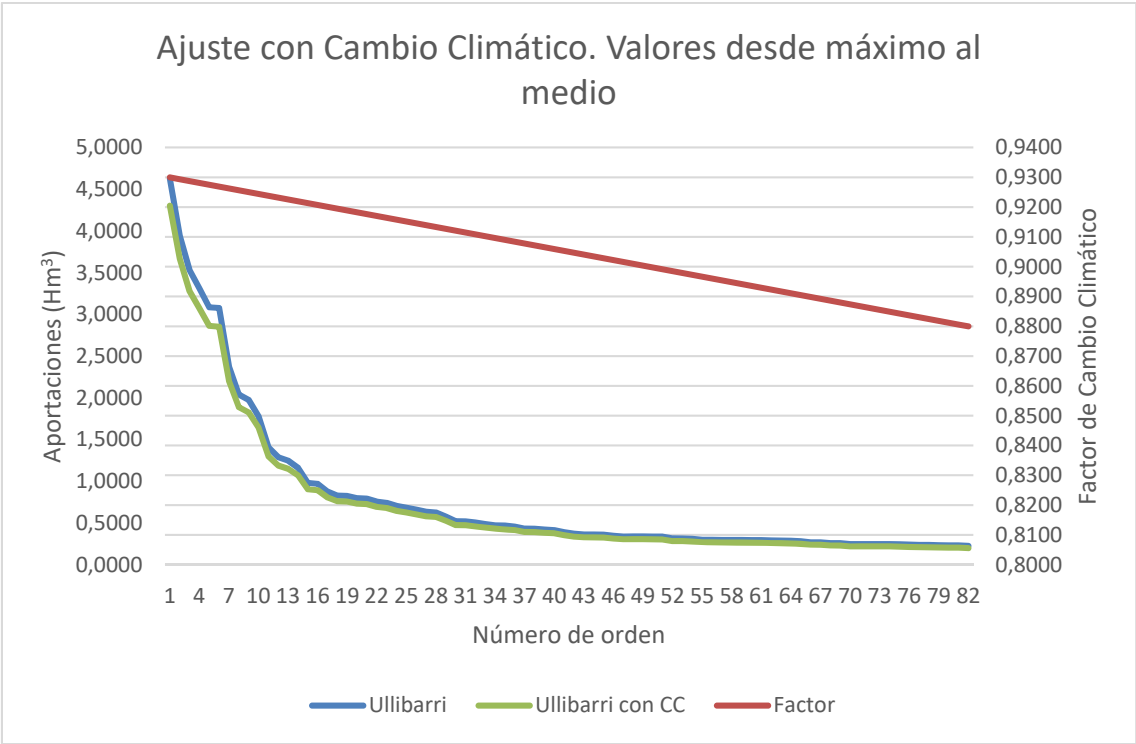
Con esto elaboramos dos rectas que nos indicarán para número de orden, el factor a aplicar.

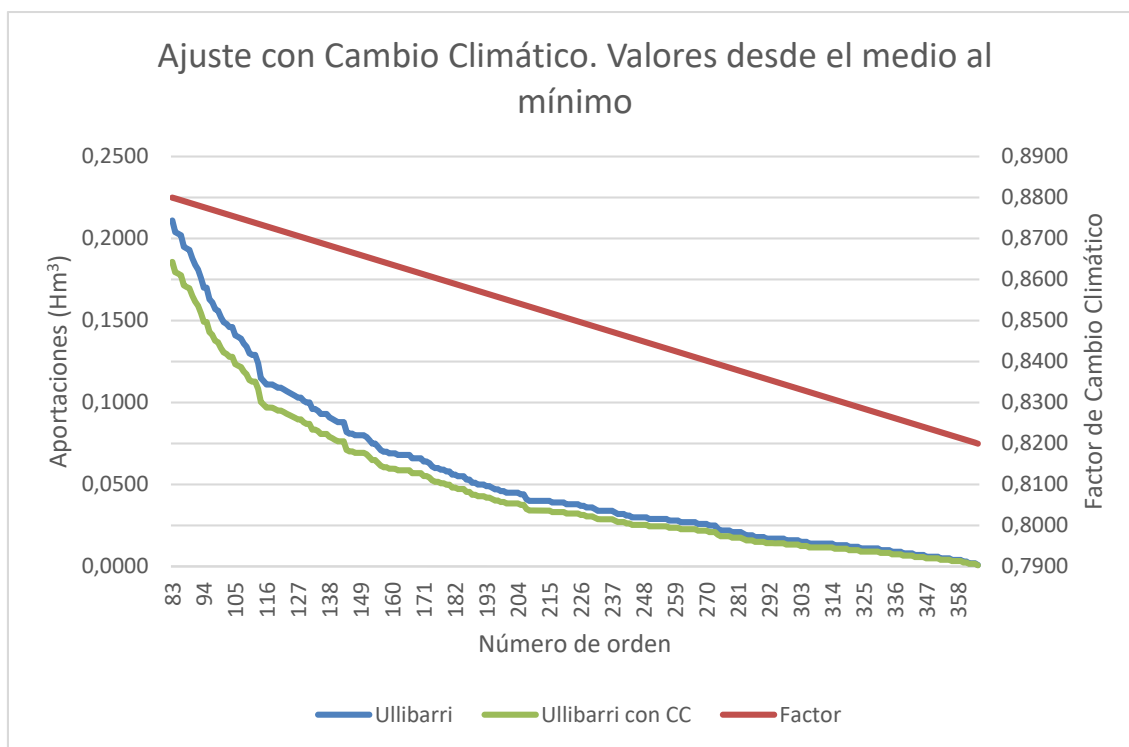


Aplicando este factor a toda la serie se obtienen las nuevas aportaciones simuladas por el cambio climático:

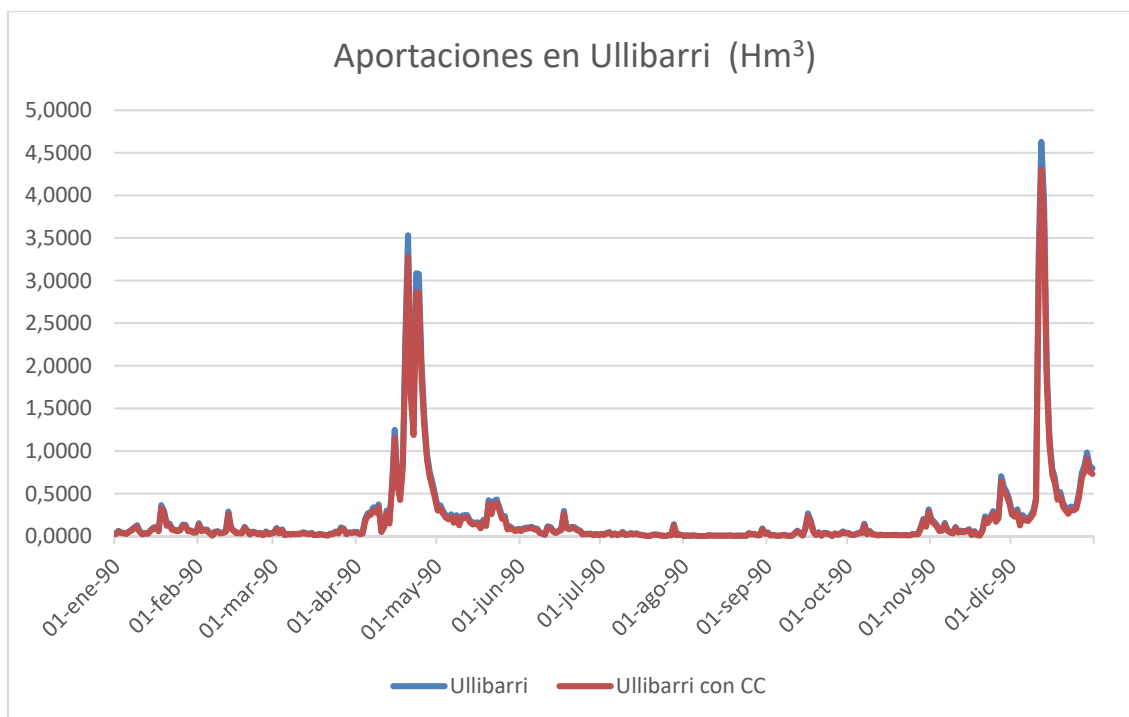


Para verlo con más detalle se presentan las siguientes gráficas de cada grupo (desde el valor máximo al medio, y desde el valor medio al mínimo)

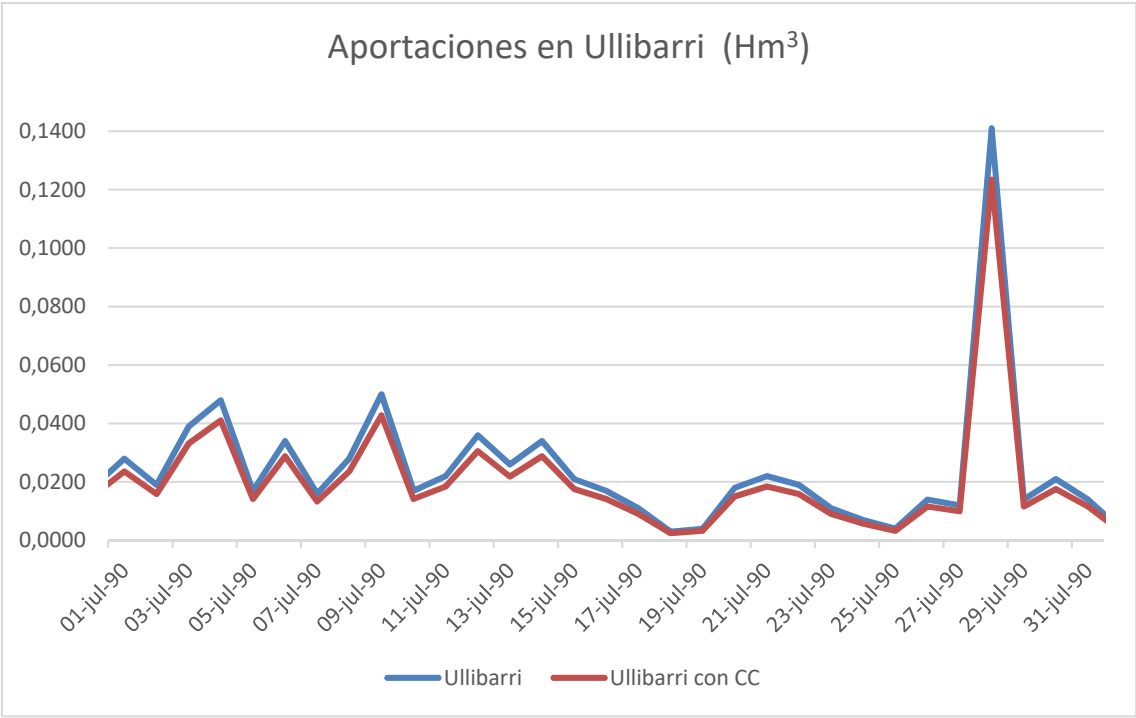




Ya realizado el factor correspondiente a cada aportación diaria se procede a reordenar todos los nuevos datos a las fechas iniciales



Y para que se observe con más detalle, haces un zoom en una zona del gráfico



Anexo 2. Elección de las series de aportaciones a ríos y embalses.

En el documento “Análisis de evolución de los embalses del Zadorra y del embalse de Ordunte en situación de sequía y cambio climático (200 - 03 / 19 – EP – 902)” se analizan las series elegidas para las aportaciones de todos y cada uno de los recursos hídricos considerados en todo lo concerniente de esta aplicación.

A modo de resumen, se expone a continuación las series de aportaciones elegidas para cada uno de los recursos.

Embalse de Ordunte

Utilizaremos las siguientes series de aportaciones:

Desde el 01 de enero de 1944 hasta el 30 de septiembre de 1951	SIMPA
Desde el 01 de octubre de 1951 hasta el 30 de septiembre de 1958	TETIS_2000
Desde el 01 de octubre de 1958 hasta el 31 de diciembre de 1969	CHC
Desde el 01 de enero de 1970 hasta el 30 de junio de 1996	CHC
Desde el 01 de julio de 1996 hasta el 31 de diciembre de 2000	CHC
Desde el 01 de enero de 2001 hasta el 30 de septiembre de 2010	CHC
Desde el 01 de octubre de 2010 hasta el 30 de septiembre de 2015	CHC

A partir del 01 de octubre de 2015 y hasta la actualidad, hay registros procedentes de la CHC que a fecha de elaboración de este informe no habían sido procesados, por lo que no los incluimos en este anejo.

Bombeo de Ibarra (Cadagua).

Utilizaremos las siguientes series de aportaciones:

Desde el 01 de enero de 1944 hasta el 30 de septiembre de 1951	SIMPA
Desde el 01 de octubre de 1951 hasta el 30 de septiembre de 1980	TETIS_2000
Desde el 01 de octubre de 1980 hasta el 30 de septiembre de 1995	TETIS_2000
Desde el 01 de octubre de 1995 hasta el 31 de diciembre de 2000	TETIS_2000
Desde el 01 de enero de 2001 hasta el 30 de septiembre de 2010	KD01 (estación de aforos)
Desde el 01 de octubre de 2010 hasta el 30 de septiembre de 2017	KD01 (estación de aforos)

1.1. Bombeo de Bolueta:

Utilizaremos las siguientes series de aportaciones:

Desde el 01 de enero de 1944 hasta el 30 de septiembre de 1951	SIMPA
Desde el 01 de octubre de 1951 hasta el 30 de septiembre de 1980	TETIS_2000
Desde el 01 de octubre de 1980 hasta el 30 de septiembre de 1995	TETIS_2000
Desde el 01 de octubre de 1995 hasta el 31 de diciembre de 2000	TETIS_2000
Desde el 01 de enero de 2001 hasta el 30 de septiembre de 2010	NB05 (estación de aforos)
Desde el 01 de octubre de 2010 hasta el 30 de septiembre de 2017	NB05 (estación de aforos)