EJEMPLO DE DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN CON AQUATOOL

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE HÁBITAT CON CAUDECO

Andrea Momblanch Benavent

Javier Paredes Arquiola

Abel Solera Solera

Joaquin Andreu Álvarez

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

Universidad Politécnica de Valencia

ÍNDICE

1. Introducción 3

2. Planteamiento del problema 3

3. Simulación con Caudeco 10

4. Análisis de resultados 14

1. Introducción

El establecimiento del régimen de caudales ecológicos en los distintos tramos de un río en un sistema de recursos hídricos es una tarea compleja, ya que debe garantizar la existencia de un hábitat adecuado para albergar a la fauna acuática sin perjudicar en exceso a los usos económicos del agua. Existen numerosas metodologías para determinar estos regimenes de caudales, de las cuales en España se aplican las metodologías estadísticas complementadas con métodos de simulación de hábitat, tal como indica la legislación (IPH, 2008). En los métodos de simulación de hábitat el indicador de la mejora del estado ecológico en los tramos de río es el aumento del hábitat potencial útil (HPU) de las especies piscícolas presentes.

Las series temporales de hábitat (STH) representan la variación temporal del HPU disponible en un tramo de río para los individuos de cierta especie piscícola en una determinada etapa del desarrollo vital. La determinación de las STH requiere las series de caudales circulantes por los tramos de estudio y las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Mediante el módulo Caudeco se combinan estos datos y se generan las series totales de hábitat. Para una mejor interpretación de la información que ofrecen las STH es habitual emplear índices o simplificaciones de estas curvas. Uno de los más utilizados son las Curvas de Duración de Hábitat (CDH), que son curvas de probabilidad de superación de hábitat que indican el porcantaje de tiempo en el que se supera un determinado valor del HPU en el periodo de estudio.

En este ejercicio se va a implementar un modelo de simulación de hábitat y se van a analizar los resultados de distintas simulaciones para mostrar las posibilidades que ofrece el módulo Caudeco.

2. Planteamiento del problema

Se va a trabajar sobre el esquema del Río Mayu mostrado en el documento de desarrollo de un modelo de gestión con Simges (*Ejemplo de desarrollo de un modelo de simulación con AquaTool. Desarrollo del modelo de simulación de la cuenca*), pero con nuevos datos de demanda, volumenes de embalse y aportaciones. Los nuevos datos se pueden encontrar en el archivo Datos.zip correspondiente a este ejemplo.

El objetivo del ejercicio consiste en fijar los caudales ecológicos en dos tramos de río “Chicharro_Grande” y “AzudGrande_VertVillaAbajo”. En estos tramos se encuentran las siguientes especies objetivo con las características que se muestran en la tabla:

Tramo de río	Especie	Estadio	Bioperíodo	Curva Q-HPU
Chicharro_Grande	Trucha	Adulto	Unidad	TruchaAdulto
	Barbo	Juvenil	Biop_1	BarboJuvenil
	Barbo	Adulto	Unidad	BarboAdulto
AzudGrande_VertVillaAbajo	Trucha	Juvenil	Biop_1	TruchaJuvenil
	Trucha	Freza	Biop_2	TruchaFreza
	Bordallo	Alevín	Biop_2	BordalloAlevin

Tabla 1. Datos de las especies estadio a considerar en cada tramo de estudio.

Otro de los datos que se debe proporcionar al módulo Caudeco son los bioperiodos. Se trata de series que representan la presencia temporal de las especies-estadio en cada tramo de río. Las series utilizadas en este ejercicio son las siguientes:

Bioperíodo	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.
Unidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Biop_1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Biop_2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Tabla 2. Series de bioperiodos de las especies estadio consideradas.

Finalmente, el dato clave para realizar la simulación de hábitat son las curvas Q-HPU. Estas curvas reflejan el grado de aprovechamiento del cauce que pueden realizar las especie-estadio presentes en cada tramo de río para su desarrollo vital. Las curvas Q-HPU se obtienen a partir de las curvas de idoneidad o preferencias, que a su vez se obtienen por conteo de peces en el río evaluando la profundidad, la velocidad y el sustrato. Las curvas Q-HPU consideradas en el problema son las siguientes:

Chicharro_Grande					
Trucha/Adulto		Barbo/Adulto		Barbo/Juvenil	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	10.95	0.01	0.70	0.02	30.61
0.03	19.91	0.02	1.04	0.04	42.38
0.05	27.15	0.03	1.39	0.07	56.37
0.06	34.03	0.05	1.60	0.09	72.07
0.08	40.82	0.06	1.81	0.11	87.63
0.09	47.88	0.07	2.02	0.13	102.68
0.11	55.39	0.08	2.23	0.15	117.20
0.12	63.54	0.09	2.51	0.17	130.80
0.14	71.77	0.10	2.72	0.20	143.35
0.15	80.28	0.12	2.92	0.22	155.13
0.17	88.97	0.13	3.20	0.24	166.25
0.18	97.66	0.14	3.48	0.26	176.58
0.20	106.44	0.15	3.90	0.28	186.13
0.21	115.40	0.16	4.25	0.30	194.76
0.23	124.36	0.17	4.73	0.33	202.61
0.24	133.32	0.19	5.22	0.35	209.93
0.26	142.37	0.20	5.78	0.37	216.60

AzudGrande_VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevín	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.53	39.47	0.72	256.16	0.39	361.37
1.07	198.84	1.43	630.39	0.79	776.10
1.60	491.96	2.15	751.56	1.18	1515.02
2.13	752.74	2.86	705.34	1.58	2423.35
2.66	863.39	3.58	600.51	1.97	3156.99
3.20	811.95	4.29	580.51	2.37	3554.61
3.73	724.39	5.01	514.00	2.76	3768.04
4.26	613.32	5.72	460.74	3.16	3891.87
4.80	503.93	6.44	444.12	3.55	3895.75
5.33	418.47	7.15	445.52	3.95	3899.80
5.86	364.09	7.87	442.71	4.34	3934.33
6.40	332.59	8.58	444.96	4.74	3950.82
6.93	311.59	9.30	443.83	5.13	3975.09
7.46	296.90	10.01	441.86	5.53	4025.18
7.99	288.92	10.73	441.86	5.92	4064.07
8.53	282.62	11.44	444.12	6.32	4079.63
9.06	275.06	12.16	445.81	6.71	4090.21

Chicharro_Grande					
Trucha/Adulto		Barbo/Adulto		Barbo/Juvenil	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
0.27	151.69	0.21	6.34	0.39	222.75
0.29	160.93	0.22	6.96	0.41	228.24
0.30	170.16	0.23	7.66	0.43	233.34
0.32	179.12	0.24	8.29	0.46	238.05
0.33	187.81	0.25	8.91	0.48	242.37
0.35	196.13	0.27	9.61	0.50	246.42
0.36	204.37	0.28	10.30	0.52	250.22
0.38	212.42	0.29	11.07	0.54	254.01
0.39	220.39	0.30	11.77	0.56	257.67
0.41	228.26	0.31	12.53	0.59	261.21
0.42	236.05	0.32	13.23	0.61	264.47
0.44	243.56	0.34	14.00	0.63	267.48
0.45	251.07	0.35	14.69	0.65	270.36
0.47	258.22	0.36	15.39	0.67	272.98
0.48	265.28	0.37	16.15	0.70	275.33
0.50	272.16	0.38	16.92	0.72	277.55
0.51	278.77	0.39	17.69	0.74	279.52
0.53	285.01	0.40	18.45	0.76	281.22
0.54	291.08	0.42	19.29	0.78	282.66
0.56	296.96	0.43	20.19	0.80	283.83
0.57	302.57	0.44	21.10	0.83	284.88
0.59	308.00	0.45	22.00	0.85	285.80
0.60	313.16	0.46	22.91	0.87	286.45
0.62	318.23	0.47	23.81	0.89	286.97
0.63	323.12	0.49	24.65	0.91	287.36
0.65	328.00	0.50	25.41	0.93	287.63
0.66	332.62	0.51	26.11	0.96	287.89
0.68	337.15	0.52	26.81	0.98	288.15
0.69	341.49	0.53	27.43	1.00	288.41
0.71	345.56	0.54	28.06	1.02	288.54
0.72	349.55	0.56	28.62	1.04	288.80
0.74	353.44	0.57	29.24	1.06	288.93
0.75	357.24	0.58	29.73	1.09	289.06
0.77	360.95	0.59	30.29	1.11	289.33
0.78	364.66	0.60	30.85	1.13	289.46
0.80	368.19	0.61	31.33	1.15	289.72
0.81	371.63	0.62	31.82	1.17	289.85
0.83	374.98	0.64	32.31	1.19	290.11
0.84	378.15	0.65	32.73	1.22	290.24
0.86	381.31	0.66	33.14	1.24	290.37
0.87	384.39	0.67	33.56	1.26	290.50
0.89	387.47	0.68	33.98	1.28	290.50
0.90	390.37	0.69	34.40	1.30	290.63
0.92	393.26	0.71	34.74	1.33	290.77
0.93	395.98	0.72	35.16	1.35	290.90
0.95	398.60	0.73	35.58	1.37	290.90
0.96	401.23	0.74	35.93	1.39	290.90
0.98	403.58	0.75	36.35	1.41	290.90
0.99	405.84	0.76	36.69	1.43	290.90
1.01	408.11	0.77	37.04	1.46	290.77
1.02	410.19	0.79	37.39	1.48	290.63
1.04	412.09	0.80	37.74	1.50	290.37
1.05	414.08	0.81	38.09	1.52	289.98
1.07	415.89	0.82	38.36	1.54	289.59
1.08	417.70	0.83	38.71	1.56	289.06
1.10	419.42	0.84	38.99	1.59	288.41
1.11	421.14	0.86	39.34	1.61	287.76
1.13	422.68	0.87	39.62	1.63	287.10

AzudGrande_VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevín	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
9.59	270.65	12.87	446.93	7.11	4105.61
10.13	267.71	13.59	448.34	7.50	4117.12
10.66	264.98	14.30	450.03	7.90	4126.14
11.19	264.14	15.02	452.57	8.29	4137.19
11.72	263.30	15.73	453.98	8.69	4146.52
12.26	262.88	16.45	455.11	9.08	4155.54
12.79	262.46	17.17	456.23	9.48	4163.94
13.32	262.04	17.88	457.36	9.87	4171.10
13.86	262.04	18.60	458.77	10.27	4175.77
14.39	261.83	19.31	459.90	10.66	4180.43
14.92	262.04	20.03	461.31	11.06	4184.95
15.45	262.25	20.74	462.43	11.45	4189.61
15.99	262.46	21.46	463.56	11.84	4194.75
16.52	262.88	22.17	464.69	12.24	4199.57
17.05	263.30	22.89	465.81	12.63	4203.77
17.59	263.51	23.60	466.94	13.03	4207.66
18.12	263.93	24.32	468.07	13.42	4211.24
18.65	264.35	25.03	468.91	13.82	4214.50
19.19	264.77	25.75	470.04	14.21	4218.39
19.72	265.19	26.46	471.17	14.61	4221.81
20.25	265.61	27.18	472.58	15.00	4225.08
20.78	266.03	27.89	473.70	15.40	4229.90
21.32	266.45	28.61	475.11	15.79	4237.37
21.85	266.66	29.32	476.80	16.19	4245.77
22.38	267.29	30.04	478.78	16.58	4255.42
22.92	267.71	30.75	480.19	16.98	4268.02
23.45	268.34	31.47	481.88	17.37	4283.11
23.98	268.97	32.19	483.00	17.77	4299.44
24.51	269.60	32.90	484.13	18.16	4315.93
25.05	270.02	33.62	485.26	18.56	4331.80
25.58	270.44	34.33	486.10	18.95	4346.58
26.11	270.86	35.05	487.23	19.35	4359.95
26.65	271.28	35.76	488.08	19.74	4372.09
27.18	271.49	36.48	488.92	20.14	4382.82
27.71	271.70	37.19	489.77	20.53	4392.93
28.24	272.12	37.91	490.61	20.93	4402.73
28.78	272.33	38.62	491.46	21.32	4411.76
29.31	272.75	39.34	492.30	21.72	4420.00
29.84	272.96	40.05	493.15	22.11	4428.40
30.38	273.38	40.77	493.99	22.51	4437.42
30.91	273.80	41.48	495.12	22.90	4447.69
31.44	274.01	42.20	496.53	23.29	4459.05
31.98	274.43	42.91	498.22	23.69	4474.91
32.51	274.85	43.63	499.91	24.08	4491.40
33.04	275.06	44.34	502.17	24.48	4507.74
33.57	275.48	45.06	503.58	24.87	4526.41
34.11	275.90	45.77	504.14	25.27	4549.58
34.64	276.32	46.49	504.70	25.66	4573.54
35.17	276.74	47.20	505.55	26.06	4594.54
35.71	276.95	47.92	506.68	26.45	4612.12
36.24	277.37	48.64	507.52	26.85	4629.23
36.77	277.79	49.35	508.65	27.24	4644.94
37.30	278.21	50.07	509.49	27.64	4660.35
37.84	278.42	50.78	510.62	28.03	4675.59
38.37	278.84	51.50	511.75	28.43	4690.99
38.90	279.26	52.21	512.59	28.82	4707.48
39.44	279.68	52.93	513.72	29.22	4724.75
39.97	279.89	53.64	514.85	29.61	4742.33

Chicharro_Grande					
Trucha/Adulto		Barbo/Adulto		Barbo/Juvenil	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
1.14	424.22	0.88	39.90	1.65	286.32
1.16	425.66	0.89	40.18	1.67	285.53
1.17	426.93	0.90	40.38	1.69	284.62
1.19	428.20	0.91	40.66	1.72	283.70
1.20	429.28	0.93	40.87	1.74	282.79
1.22	430.37	0.94	41.15	1.76	281.87
1.23	431.28	0.95	41.36	1.78	280.96
1.25	432.18	0.96	41.57	1.80	280.04
1.26	432.99	0.97	41.78	1.82	279.26
1.28	433.63	0.98	41.99	1.85	278.47
1.29	434.26	0.99	42.13	1.87	277.69
1.31	434.90	1.01	42.33	1.89	277.03
1.32	435.44	1.02	42.54	1.91	276.38
1.34	435.98	1.03	42.75	1.93	275.72
1.35	436.43	1.04	42.89	1.96	275.20
1.37	436.89	1.05	43.10	1.98	274.68
1.38	437.25	1.06	43.24	2.00	274.02
1.40	437.61	1.08	43.38	2.02	273.50
1.41	437.88	1.09	43.52	2.04	272.98
1.43	438.15	1.10	43.66	2.06	272.45
1.44	438.24	1.11	43.80	2.09	272.06
1.46	438.24	1.12	43.94	2.11	271.54
1.47	438.34	1.13	44.07	2.13	271.01
1.49	438.34	1.14	44.14	2.15	270.62
1.50	438.34	1.16	44.28	2.17	270.10
1.52	438.24	1.17	44.42	2.19	269.58
1.53	438.24	1.18	44.49	2.22	269.18
1.55	438.15	1.19	44.56	2.24	268.66
1.56	438.06	1.20	44.63	2.26	268.14
1.58	437.97	1.21	44.70	2.28	267.61
1.59	437.79	1.23	44.84	2.30	267.09
1.61	437.70	1.24	44.91	2.32	266.57
1.62	437.52	1.25	44.98	2.35	266.04
1.64	437.34	1.26	45.05	2.37	265.65
1.65	437.16	1.27	45.05	2.39	265.13
1.67	436.89	1.28	45.12	2.41	264.74
1.68	436.62	1.30	45.19	2.43	264.34
1.70	436.34	1.31	45.19	2.45	263.95
1.71	436.07	1.32	45.26	2.48	263.56
1.73	435.71	1.33	45.26	2.50	263.04
1.74	435.35	1.34	45.33	2.52	262.64
1.76	434.99	1.35	45.33	2.54	262.12
1.77	434.62	1.36	45.40	2.56	261.73
1.79	434.26	1.38	45.40	2.59	261.21
1.80	433.81	1.39	45.47	2.61	260.81
1.82	433.36	1.40	45.47	2.63	260.29
1.83	432.90	1.41	45.54	2.65	259.90
1.85	432.45	1.42	45.54	2.67	259.37
1.86	432.00	1.43	45.61	2.69	258.98
1.88	431.55	1.45	45.68	2.72	258.46
1.89	431.00	1.46	45.68	2.74	257.93
1.91	430.55	1.47	45.75	2.76	257.54
1.92	430.01	1.48	45.82	2.78	257.02
1.94	429.56	1.49	45.82	2.80	256.63
1.95	429.01	1.50	45.89	2.82	256.10
1.97	428.56	1.51	45.89	2.85	255.71
1.98	428.02	1.53	45.95	2.87	255.19
2.00	427.38	1.54	45.95	2.89	254.67

AzudGrande_VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevín	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
40.50	280.31	54.36	515.97	30.01	4759.44
41.03	280.73	55.07	517.10	30.40	4777.02
41.57	280.94	55.79	518.23	30.80	4794.60
42.10	281.36	56.50	519.07	31.19	4812.95
42.63	281.78	57.22	520.20	31.59	4831.62
43.17	281.99	57.93	521.05	31.98	4850.29
43.70	282.41	58.65	521.89	32.38	4868.80
44.23	282.62	59.36	523.02	32.77	4886.84
44.77	283.04	60.08	523.86	33.17	4904.73
45.30	283.25	60.79	524.71	33.56	4922.62
45.83	283.67	61.51	525.56	33.96	4940.05
46.36	283.88	62.22	526.40	34.35	4957.31
46.90	284.30	62.94	527.25	34.74	4974.89
47.43	284.51	63.66	528.09	35.14	4992.32
47.96	284.72	64.37	529.22	35.53	5009.58
48.50	285.14	65.09	530.06	35.93	5026.38
49.03	285.35	65.80	530.91	36.32	5042.87
49.56	285.56	66.52	531.76	36.72	5059.21
50.09	285.98	67.23	532.60	37.11	5075.70
50.63	286.19	67.95	533.45	37.51	5092.19
51.16	286.40	68.66	534.29	37.90	5108.99
51.69	286.61	69.38	535.14	38.30	5126.10
52.23	287.03	70.09	535.98	38.69	5143.21
52.76	287.24	70.81	536.55	39.09	5160.17
53.29	287.45	71.52	537.39	39.48	5176.66
53.82	287.66	72.24	537.95	39.88	5192.84
54.36	287.87	72.95	538.80	40.27	5208.55
54.89	288.29	73.67	539.36	40.67	5224.57
55.42	288.50	74.38	540.21	41.06	5240.90
55.96	288.71	75.10	541.05	41.46	5256.93
56.49	288.92	75.81	541.62	41.85	5272.95
57.02	289.13	76.53	542.18	42.25	5289.13
57.56	289.34	77.24	543.03	42.64	5305.31
58.09	289.55	77.96	543.59	43.04	5321.49
58.62	289.76	78.67	544.15	43.43	5337.51
59.15	289.97	79.39	544.72	43.83	5353.38
59.69	290.18	80.11	545.28	44.22	5369.56
60.22	290.39	80.82	546.13	44.62	5385.89
60.75	290.60	81.54	546.69	45.01	5402.07
61.29	290.81	82.25	547.25	45.41	5418.09
61.82	291.02	82.97	547.82	45.80	5433.96
62.35	291.23	83.68	548.38	46.19	5449.98
62.88	291.44	84.40	548.95	46.59	5465.85
63.42	291.65	85.11	549.51	46.98	5481.09
63.95	291.86	85.83	550.07	47.38	5496.18
64.48	292.07	86.54	550.64	47.77	5511.27
65.02	292.28	87.26	551.20	48.17	5526.52
65.55	292.49	87.97	551.76	48.56	5541.92
66.08	292.70	88.69	552.33	48.96	5557.47
66.61	292.91	89.40	552.89	49.35	5573.19
67.15	293.12	90.12	553.45	49.75	5588.74
67.68	293.33	90.83	554.02	50.14	5604.30
68.21	293.54	91.55	554.30	50.54	5619.70
68.75	293.75	92.26	554.86	50.93	5635.26
69.28	293.75	92.98	555.43	51.33	5650.81
69.81	293.96	93.69	555.71	51.72	5666.68
70.35	294.17	94.41	556.27	52.12	5682.39
70.88	294.38	95.13	556.84	52.51	5698.10

Chicharro_Grande					
Trucha/Adulto		Barbo/Adulto		Barbo/Juvenil	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
2.01	426.84	1.55	45.95	2.91	254.27
2.03	426.30	1.56	45.89	2.93	253.75
2.04	425.66	1.57	45.89	2.95	253.23
2.06	425.03	1.58	45.82	2.98	252.70
2.07	424.40	1.60	45.75	3.00	252.18
2.09	423.67	1.61	45.68	3.02	251.66
2.10	422.95	1.62	45.61	3.04	251.13
2.12	422.22	1.63	45.54	3.06	250.61
2.13	421.50	1.64	45.47	3.08	250.09
2.15	420.78	1.65	45.40	3.11	249.56
2.16	420.05	1.67	45.26	3.13	249.04
2.18	419.33	1.68	45.12	3.15	248.52
2.19	418.60	1.69	45.05	3.17	248.13
2.21	417.88	1.70	44.91	3.19	247.60
2.22	417.16	1.71	44.77	3.22	247.08
2.24	416.43	1.72	44.63	3.24	246.56
2.25	415.71	1.73	44.49	3.26	246.03
2.27	414.98	1.75	44.35	3.28	245.51
2.28	414.17	1.76	44.14	3.30	244.99
2.30	413.45	1.77	44.00	3.32	244.46
2.31	412.63	1.78	43.87	3.35	244.07
2.33	411.91	1.79	43.73	3.37	243.55
2.35	411.09	1.80	43.52	3.39	243.02
2.36	410.37	1.82	43.38	3.41	242.63
2.38	409.55	1.83	43.24	3.43	242.11
2.39	408.83	1.84	43.03	3.45	241.72
2.41	408.01	1.85	42.89	3.48	241.19
2.42	407.20	1.86	42.75	3.50	240.80
2.44	406.39	1.87	42.54	3.52	240.41
2.45	405.66	1.88	42.40	3.54	239.88
2.47	404.85	1.90	42.33	3.56	239.49
2.48	404.03	1.91	42.19	3.58	239.10
2.50	403.22	1.92	42.06	3.61	238.71
2.51	402.40	1.93	41.92	3.63	238.31
2.53	401.50	1.94	41.85	3.65	237.92
2.54	400.68	1.95	41.78	3.67	237.53
2.56	399.87	1.97	41.64	3.69	237.14
2.57	399.05	1.98	41.57	3.71	236.75
2.59	398.24	1.99	41.50	3.74	236.22
2.60	397.42	2.00	41.43	3.76	235.83
2.62	396.61	2.01	41.36	3.78	235.44
2.63	395.89	2.02	41.36	3.80	235.05
2.65	395.07	2.04	41.29	3.82	234.65
2.66	394.26	2.05	41.29	3.85	234.26
2.68	393.44	2.06	41.22	3.87	233.87
2.69	392.72	2.07	41.22	3.89	233.48
2.71	391.90	2.08	41.15	3.91	233.08
2.72	391.09	2.09	41.08	3.93	232.69
2.74	390.37	2.10	41.08	3.95	232.30
2.75	389.55	2.12	41.01	3.98	231.91
2.77	388.74	2.13	40.94	4.00	231.51
2.78	387.92	2.14	40.87	4.02	231.12
2.80	387.11	2.15	40.80	4.04	230.73
2.81	386.29	2.16	40.80	4.06	230.34
2.83	385.48	2.17	40.73	4.08	229.94
2.84	384.75	2.19	40.66	4.11	229.55
2.86	383.94	2.20	40.59	4.13	229.16
2.87	383.12	2.21	40.59	4.15	228.90

AzudGrande_VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevín	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
71.41	294.59	95.84	557.12	52.91	5713.66
71.94	294.80	96.56	557.68	53.30	5729.22
72.48	295.01	97.27	557.96	53.70	5744.62
73.01	295.01	97.99	558.53	54.09	5760.33
73.54	295.22	98.70	558.81	54.49	5775.88
74.08	295.43	99.42	559.37	54.88	5791.60
74.61	295.64	100.13	559.65	55.28	5807.31
75.14	295.85	100.85	560.22	55.67	5822.86
75.67	295.85	101.56	560.50	56.07	5838.58
76.21	296.06	102.28	561.06	56.46	5854.29
76.74	296.27	102.99	561.34	56.86	5870.16
77.27	296.48	103.71	561.91	57.25	5886.02
77.81	296.48	104.42	562.19	57.65	5902.20
78.34	296.69	105.14	562.47	58.04	5918.22
78.87	296.90	105.85	563.04	58.43	5934.40
79.40	297.11	106.57	563.32	58.83	5950.74
79.94	297.11	107.28	563.88	59.22	5967.07
80.47	297.32	108.00	564.16	59.62	5983.56
81.00	297.53	108.71	564.44	60.01	5999.74
81.54	297.74	109.43	564.73	60.41	6015.92
82.07	297.74	110.14	565.29	60.80	6032.10
82.60	297.95	110.86	565.57	61.20	6048.12
83.14	298.16	111.58	565.85	61.59	6064.30
83.67	298.37	112.29	566.42	61.99	6080.32
84.20	298.37	113.01	566.70	62.38	6096.50
84.73	298.58	113.72	566.98	62.78	6112.52
85.27	298.79	114.44	567.26	63.17	6128.70
85.80	298.79	115.15	567.83	63.57	6144.72
86.33	299.00	115.87	568.11	63.96	6160.90
86.87	299.21	116.58	568.39	64.36	6176.93
87.40	299.21	117.30	568.67	64.75	6193.10
87.93	299.42	118.01	569.23	65.15	6209.13
88.46	299.63	118.73	569.52	65.54	6225.15
89.00	299.63	119.44	569.80	65.94	6241.33
89.53	299.84	120.16	570.36	66.33	6257.51
90.06	300.05	120.87	570.64	66.73	6273.84
90.60	300.05	121.59	570.93	67.12	6290.33
91.13	300.26	122.30	571.21	67.52	6306.66
91.66	300.26	123.02	571.77	67.91	6323.31
92.19	300.47	123.73	572.05	68.31	6339.95
92.73	300.68	124.45	572.33	68.70	6356.29
93.26	300.68	125.16	572.62	69.10	6372.78
93.79	300.89	125.88	572.90	69.49	6389.27
94.33	300.89	126.60	573.18	69.88	6405.45
94.86	301.10	127.31	573.46	70.28	6421.47
95.39	301.31	128.03	573.74	70.67	6437.49
95.93	301.31	128.74	574.03	71.07	6453.52
96.46	301.52	129.46	574.59	71.46	6469.54
96.99	301.52	130.17	574.87	71.86	6485.41
97.52	301.73	130.89	575.15	72.25	6501.43
98.06	301.94	131.60	575.43	72.65	6517.30
98.59	301.94	132.32	575.72	73.04	6533.16
99.12	302.15	133.03	576.00	73.44	6549.19

Chicharro_Grande					
Trucha/Adulto		Barbo/Adulto		Barbo/Juvenil	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m
2.89	382.31	2.22	40.52	4.17	228.51
2.90	381.50	2.23	40.45	4.19	228.11
2.92	380.68	2.24	40.38	4.21	227.72
2.93	379.87	2.26	40.38	4.24	227.33
2.95	379.05	2.27	40.31	4.26	226.94
2.96	378.24	2.28	40.25	4.28	226.54
2.98	377.42	2.29	40.18	4.30	226.15
2.99	376.61	2.30	40.11	4.32	225.76
3.01	375.79	2.31	40.11	4.34	225.37

AzudGrande_VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevín	
Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m	Q m³/s	HPU m²/m

Tabla 3. Curvas Q-HPU de las especies-estadio consideradas en los tramos de estudio.

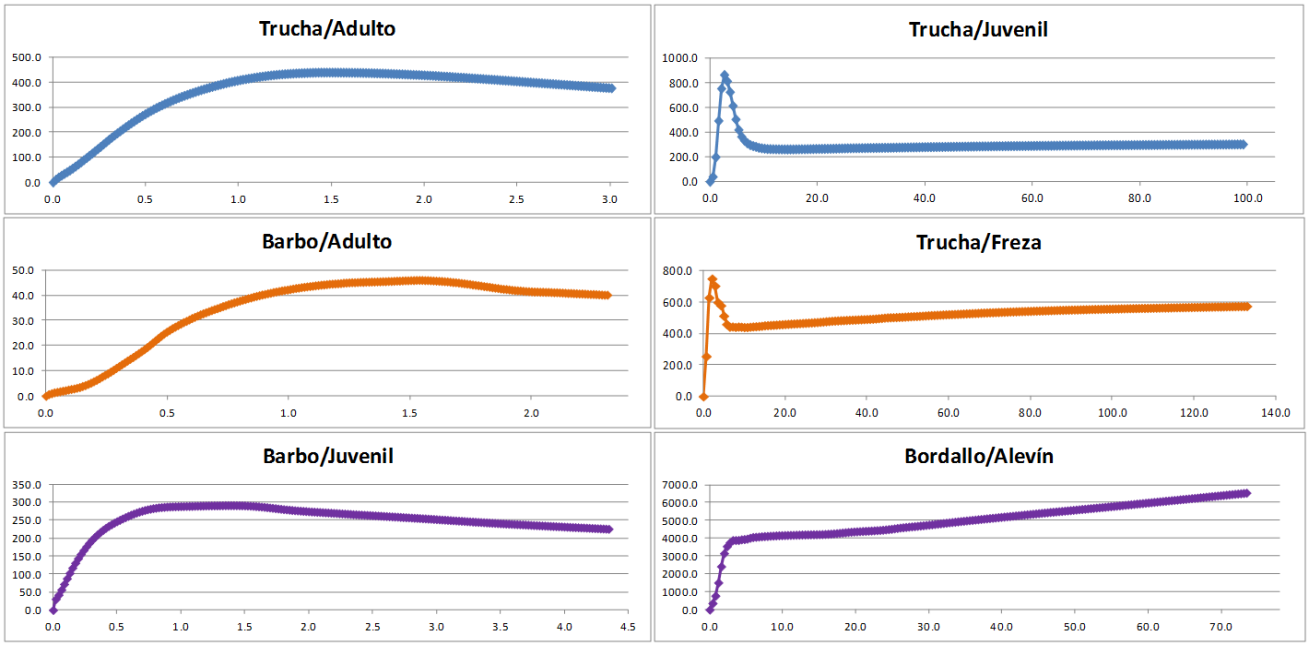

Figura 1. Gráficas de las curvas Q-HPU de las especies-estadio consideradas en los tramos de estudio.

Como ya se ha comentado anteriormente, el objetivo de este ejercicio es determinar el caudal ecológico en dos tramos de río. Para ello se deben probar distintos valores de caudal ecológico y escoger el que proporcione, conjuntamente, buenos resultados de disponibilidad de hábitat y de atención a las demandas. Por tanto, cuantas más simulaciones se realicen variando el caudal, mejor información se tendrá para la elección de los caudales ecológicos a implantar.

En este ejercicio únicamente se va a analizar el efecto de los caudales mínimos que proporcionan el 30%, el 50% y el 80% del HPU máximo de la especie-estadio más restrictiva en cada tramo de río estudiado. Estos porcentajes representan el rango de caudales exigido por la legislación (IPH, 2008), 50%-80% en situación normal y 30%-80% en caso de masas muy alteradas hidrológicamente o en épocas de sequía:

Nombre	CaudalChicharro_Grande (m^3/s)	AzudGrande_VertVillaAbajo (m^3/s)
Q_1	0.332	1.175
Q_2	0.463	1.489
Q_3	0.766	2.005

Tabla 4. Caudales ecológicos.

El patrón temporal con el que se va a distribuir mensualmente cada uno de los caudales mínimos anteriores se ha obtenido a partir de la variabilidad del régimen natural en cada tramo de río:

Mes	Coeficiente Chicharro_Grande	Coeficiente AzudGrande_VertVillaAbajo
Octubre	1.00	1.00
Noviembre	1.12	1.04
Diciembre	1.14	1.07
Enero	1.03	1.12
Febrero	1.16	1.12
Marzo	1.15	1.24
Abril	1.29	1.36
Mayo	1.37	1.32
Junio	1.19	1.07
Julio	1.00	1.00
Agosto	1.00	1.00
Septiembre	1.00	1.00

Tabla 5. Patrones de distribución mensual de los caudales ecológicos.

Con estos datos, los caudales mínimos a introducir en las distintas simulaciones con Simges serían: (= Q_i·Patrón de distribución)

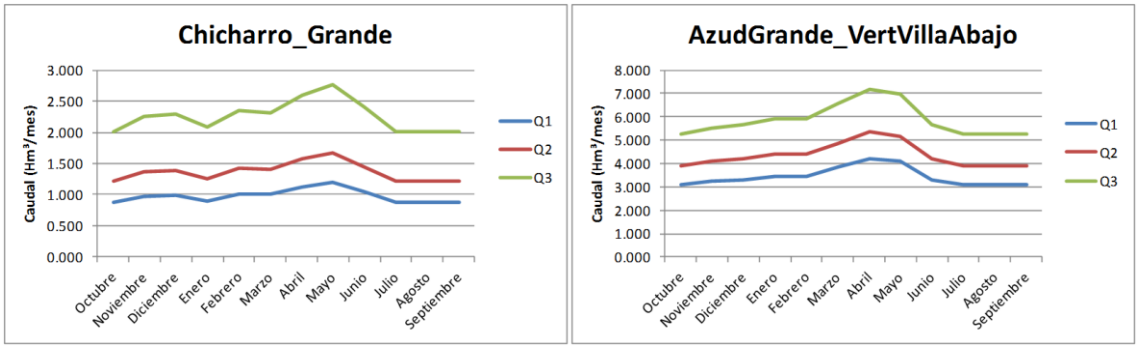

Figura 2. Regímenes de caudales ecológicos considerados.

3. Simulación con Caudeco

Con cada uno de los regímenes de caudales ecológicos anteriores se va a realizar una simulación con Caudeco, para lo cual se debe realizar previamente la simulación de la gestión del sistema con Simges, fijando el regímen de caudales mínimos circulantes en los tramos de estudio. Las simulaciones de la gestión deben abarcar almenos el período en que se desea simular la disponibilidad de hábitat. Dado que en las distintas simulaciones solo cambian los caudales mínimos en dos tramos, se ha decidio crear tres escenarios distintos dentro del mismo proyecto de AquaTool.

Para más información sobre la simulación de la gestión, consultar el *Ejemplo de desarrollo de un modelo de simulación con AquaTool. Desarrollo del modelo de simulación de la cuenca*.

Tras la simulación con Simges, se dispone de los caudales mensuales circulantes por los tramos de río estudiados, en función de los caudales mínimos establecidos en ellos y de la gestión llevada a cabo en el sistema. En este punto se puede realizar la simulación de hábitat con Caudeco.

A continuación se muestra la implementacion de datos mediante figuras. Para más detalles acerca de la introducción de datos en Caudeco, consultar el Manual del usuario de Caudeco.

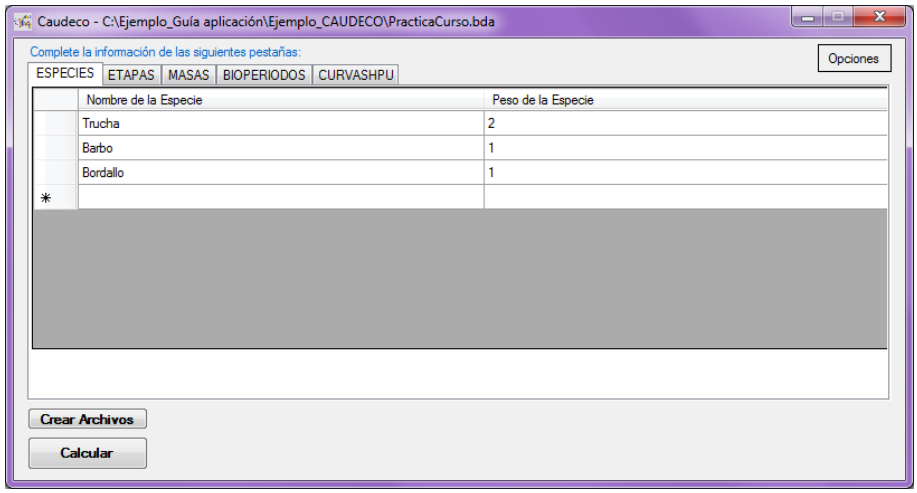

Figura 3. Pestaña de especies objetivo.

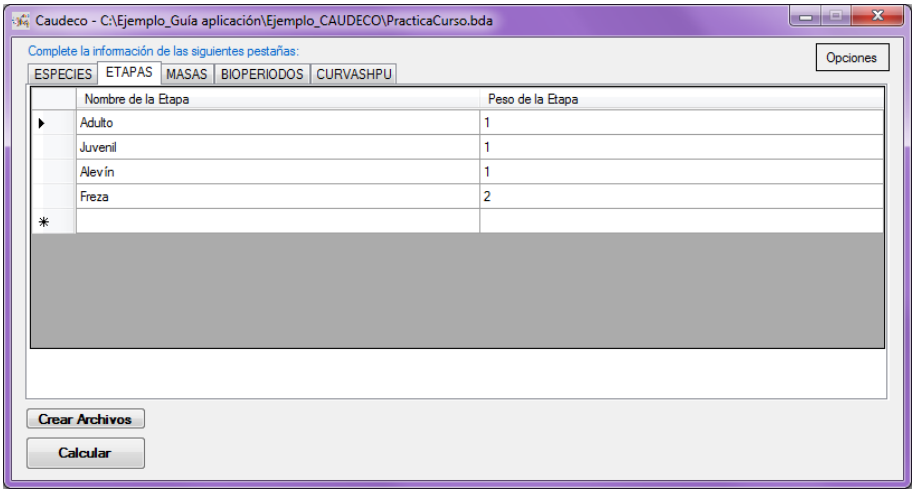

Figura 4. Pestaña de estadios de vida de las especies objetivo.

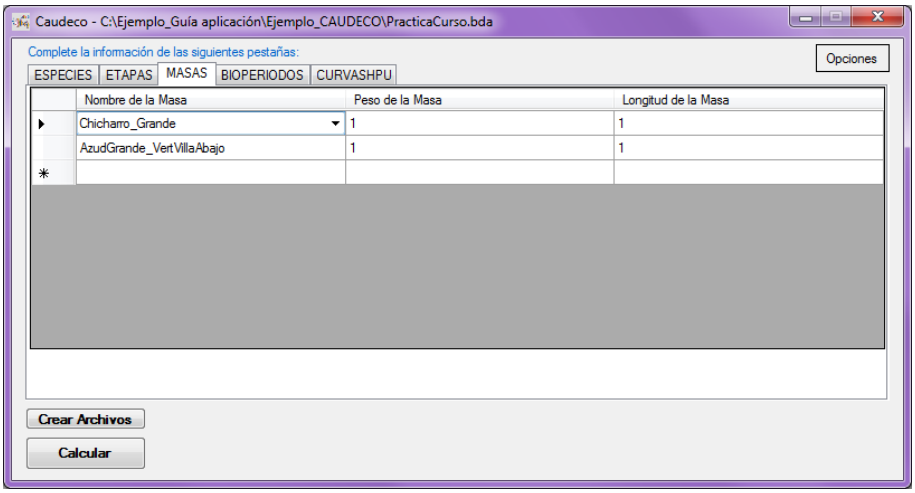

Figura 5. Pestaña de masas de agua o tramos de estudio.

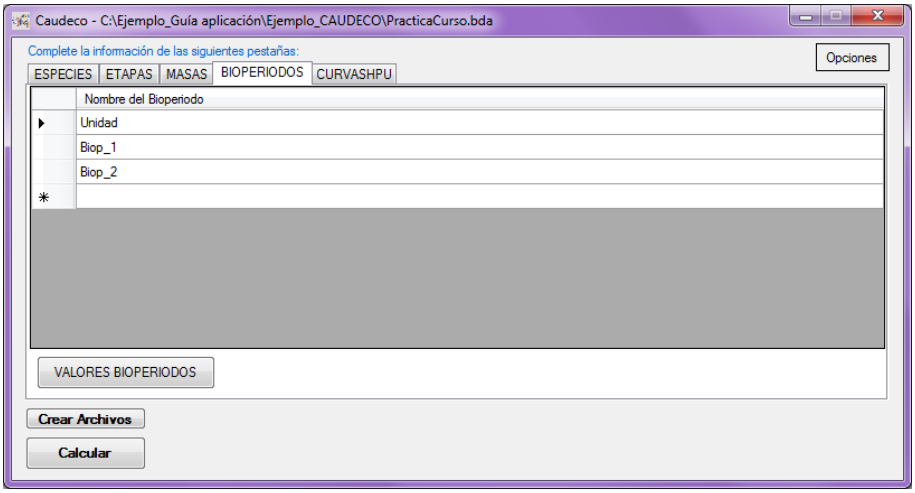

Figura 6. Pestaña de bioperiodos de las especies-estadios estudiadas.

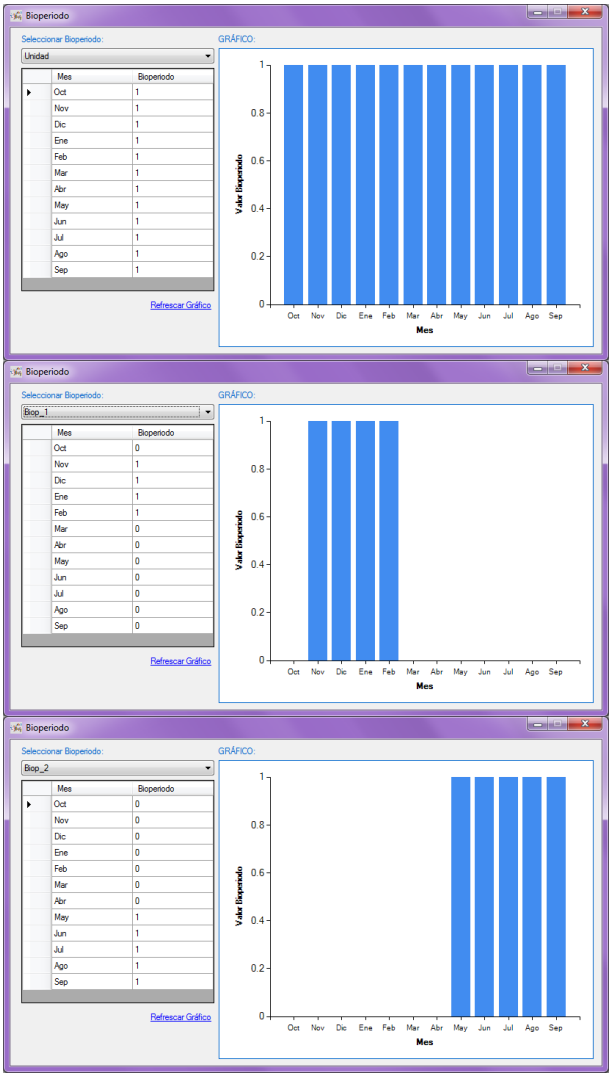

Figura 7. Ventanas de implementación de las series de bioperiodos.

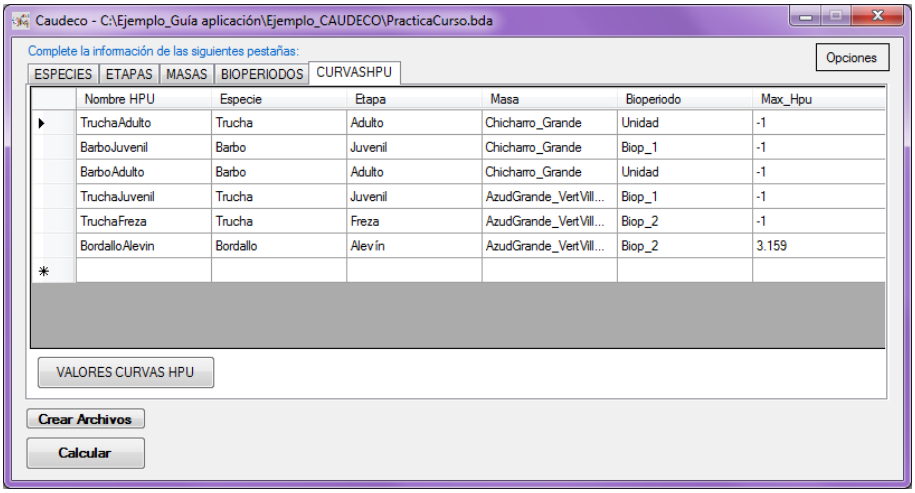

Figura 8. Pestaña de curvas Q-HPU de las especies-estadio estudiadas.

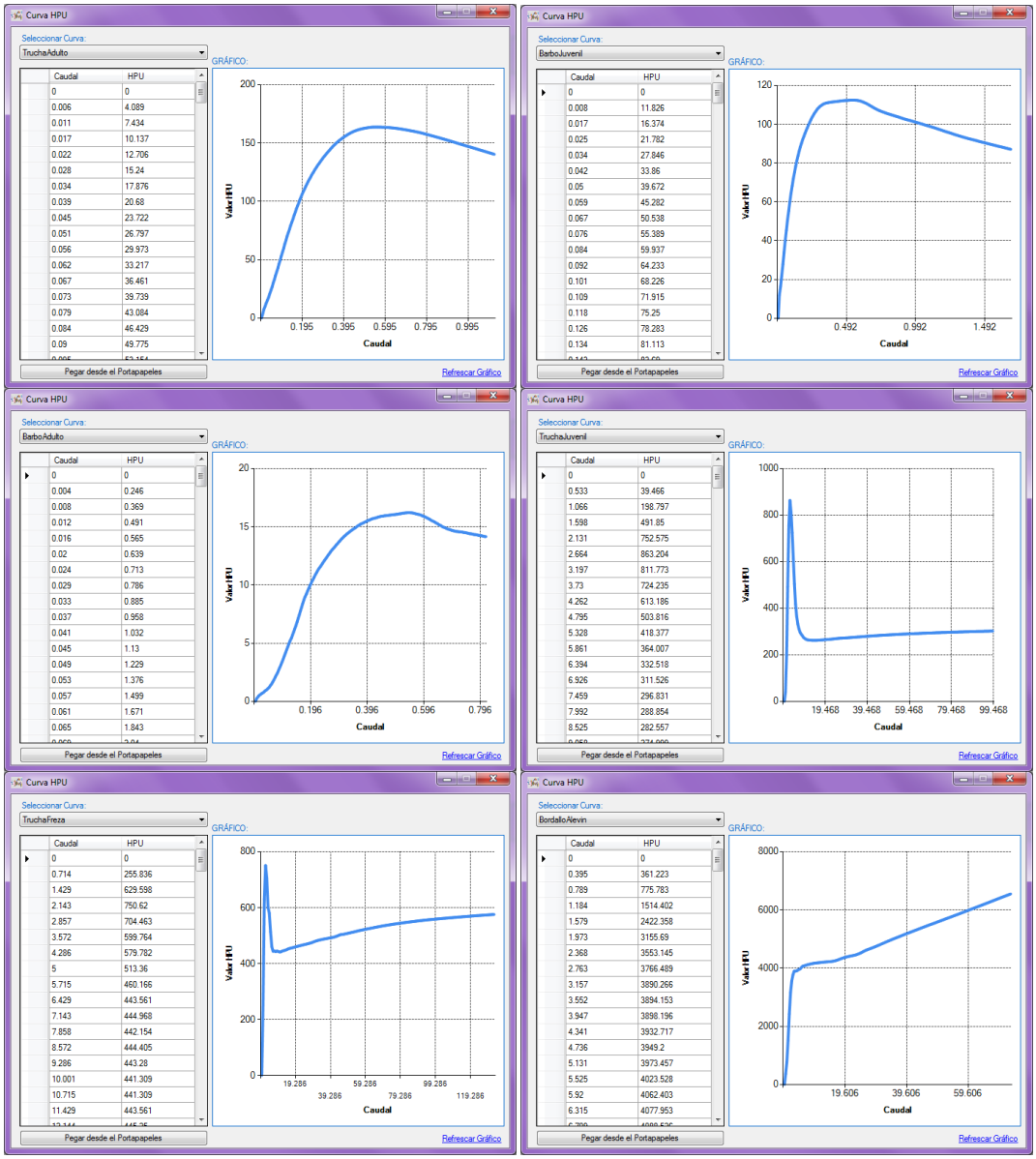

Figura 9. Ventanas de implementación de las curvas Q-HPU.

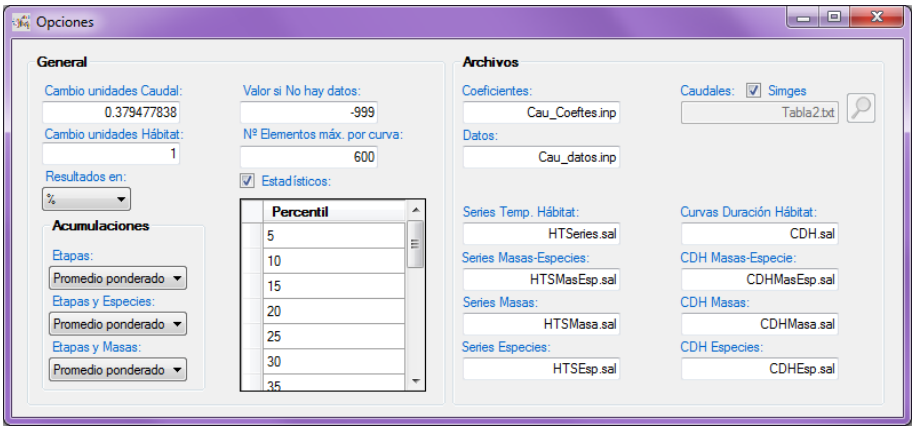

Figura 10. Opciones de simulación seleccionadas.

Finalmente, se debe presionar el botón “Calcular” para obtener las STH, que reflejan la variación mensual del hábitat disponible para los caudales circulantes por el río, y las CDH, que muestran la frecuencia de presentación de los distintos valores de hábitat disponible para las especies-estadio estudiadas.

4. Análisis de resultados

El proceso descrito en el apartado 3 se debe repetir para cada uno de los escenarios definidos, con distintos los regímenes de caudales ecológicos analizados. Se podrían realizar múltiples combinaciones de los caudales ecológicos en los distintos tramos (definiendo más escenarios), pero hay que tener en cuenta la capacidad de análisis que se tiene de los resultados, para no generar sobreinformación. En el ejemplo descrito en este documento se obtienen tres resultados distintos sobre la disponibilidad de hábitat y el grado de satisfacción de las demandas, en función de los caudales ecológicos implantados en las simulaciones con Simges.

Los métodos de análisis que se pueden utilizar para estudiar las posibles soluciones del problema son muy diversos y se deben combinar para tratar de alcanzar la mejor solución:

1. Comparación de las STH y las CDH para distintos regímenes de caudales ecológicos, utilizando indicadores como la garantía y la resiliencia para las STH, y el acumulado (de los percentiles 80, 85, 90 y 95) y el valor del percentil 80 para las CDH.

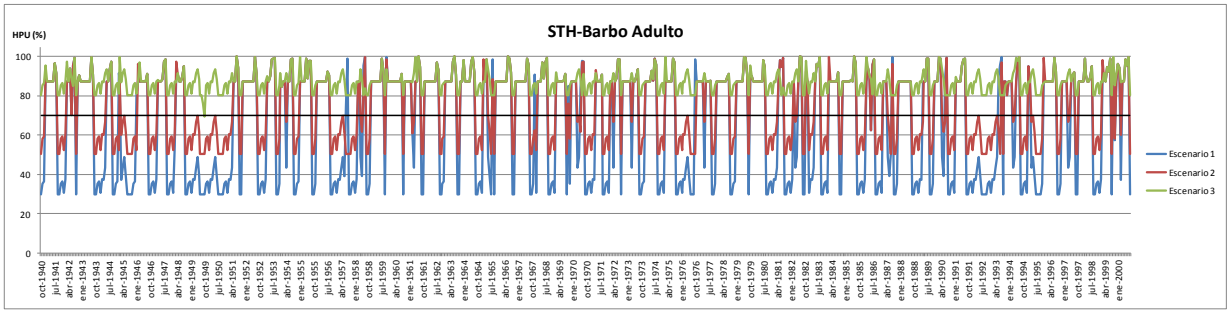

Figura 11. STH del barbo adulto en los distintos escenarios simulados.

Simulación	Criterio de fallo	Garantía	Resiliencia
Escenario 1	HPU < 70%	56.111	32
Escenario 2		56.805	11
Escenario 3		99.861	1

Tabla 6. Indicadores de disponibilidad de hábitat derivados de las STH.

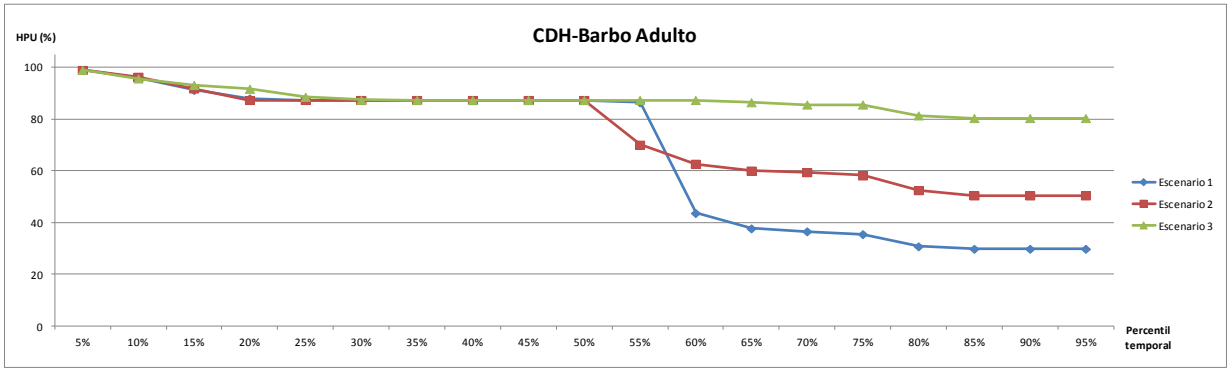

Figura 12. CDH del barbo adulto en los distintos escenarios simulados.

Simulación	Acumulado	Valor del percentil 80
Escenario 1	120.158	30.755
Escenario 2	203.774	52.457
Escenario 3	322.281	81.330

Tabla 7. Indicadores de disponibilidad de hábitat derivados de las CDH.

2. Utilización de los resultados de STH y CDH agregados por etapas y especies, y por etapas y masas para detectar aspectos conflictivos.

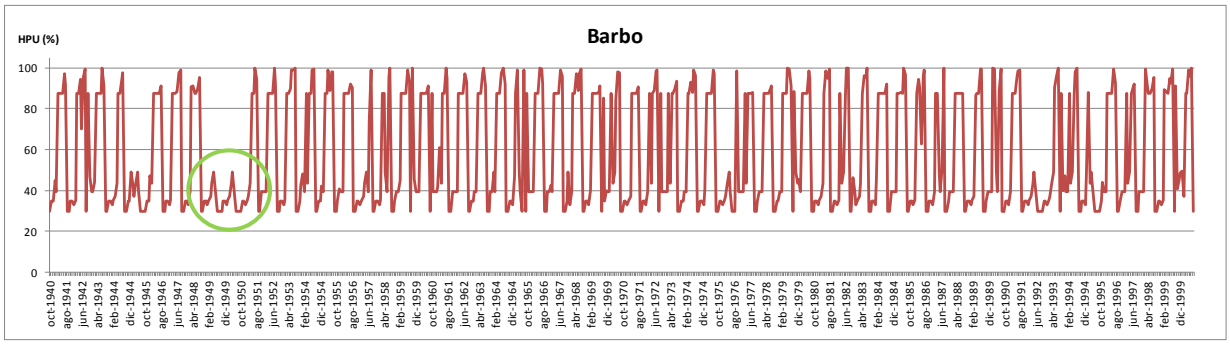

Figura 13. STH acumulada para el barbo en el escenario 1.

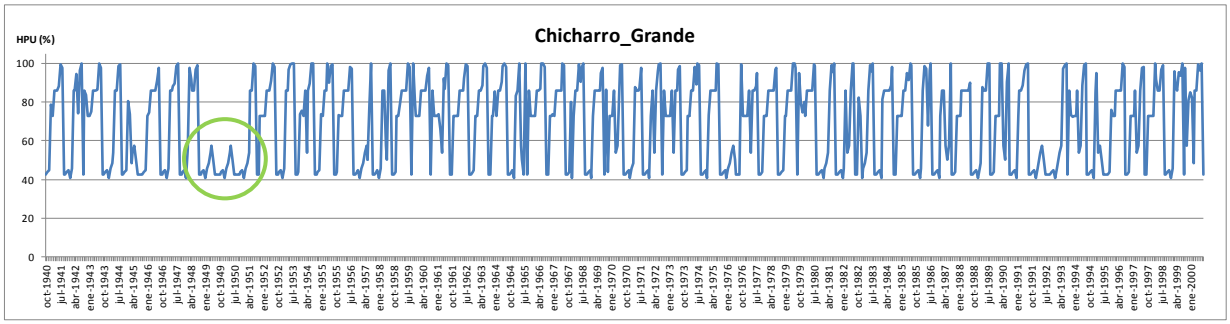

Figura 14. STH acumulada para el tramo Embalse del Chicharro - Azud Grande en el escenario 1.

3. Estudio del grado de satisfacción de las demandas para cada caudal ecológico a través de los distintos tipos de garantías que proporciona Simges.

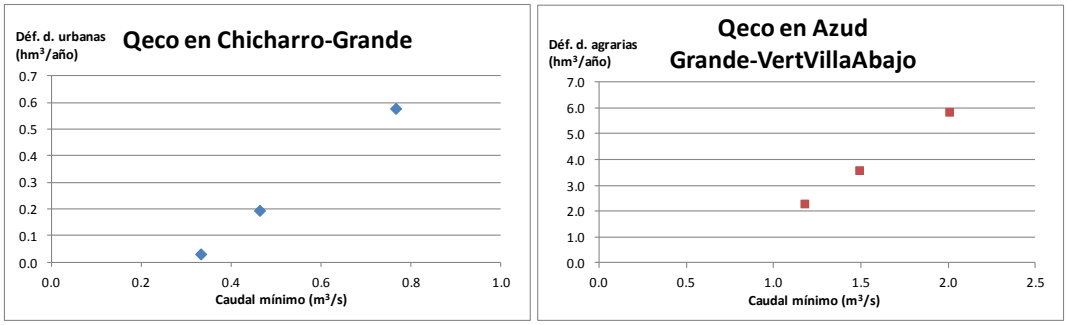

Figura 15. Efecto de los caudales ecológicos sobre el sistema.

Si los gráficos de la Figura 15 tuviesen más puntos, es decir que se hubiesen simulado más regímenes de caudales ecológicos, se podría definir una curva que relacionara el aumento del caudal mínimo con el aumento del déficit de suministro a las demandas. La principal ventaja de dicha información es que resulta fácilmente comprensible por las partes interesadas en los procesos de planificación.