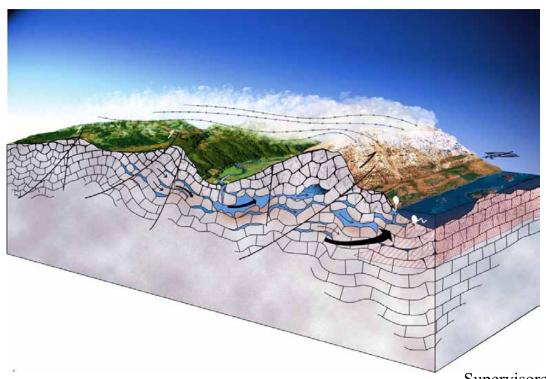
DIKTAS:

Protección, gestión y uso sostenible del Sistema Acuífero Kárstico Dinárico

Generación de cartografía hidrogeológica

Trabajo de fin de Máster de Recursos Hídricos y Medio Ambiente Alejandro Tello Martínez



Supervisores:

Doctor Bartolomé Andreo Navarro¹

Doctor Neno Kukuric²

1 Tutor 2 Co-tutor





ÍNDICE

Re	esumen		1
A_{ξ}	gradecimi	entos	II
Li	stado de J	figuras	IV
Li	stado de t	tablas	VII
In	troducció	n	VIL
Oi	bjetivos		IX
1.	Descripc	ión de la zona de estudio	
	1.1	Localización	1
	1.2	Geología	3
	1.3	Climatología	6
	1.4	Edafología	10
	1.5	Vegetación	13
	1.6	Hidrología	14
	1.7	Hidrogeología	20
2.	Proyecto	DIKTAS. Análisis	32
	2.1	El proyecto DIKTAS, definición de sus bases	33
	2.2	Aspectos históricos	38
	2.3	El agua y su inevitable relación con la historia	4
	2.4	Vulnerabilidad y principales fuentes de contaminación en el karst Dináride	43
	2.5	Política, sociedad y economía	50
	2.6	Valor ambiental del acuífero Dinárico	51
	2.7	El Proyecto DIKTAS y sus propuestas de actuación	52
	2.8	Notas aclaratorias	56
3.	Cartogra	ıfia	57
	3.1	Reseñas históricas sobre la cartografía hidrogeológica	57
	3.2	Fases de preparación de un mapa	62

3.2.1 Generación d		Generación d	e cartografía hidrogeológica analógica6	52
		3.2.1.1	Fase preparatoria (en la oficina)	63
		3.2.1.2	Fase de trabajo de campo6	54
		3.2.1.3	Fase de generación del mapa base e interpretación6	55
		3.2.1.4	Desarrollo del mapa6	59
		3.2.1.5	Edición6	59
3.	2.2	Generación de	cartografía hidrogeológica digital70	0
		3.2.2.1	Recopilación de información70)
		3.2.2.2	Preparación de datos Montenegro7	1
		3.2.2.3	Generación de la base de datos7.	5
Conclusiones			8	6
Referencias			8	7
Anexo 1				

DIKTAS, Protección, gestión y uso sostenible del Sistema Acuífero Dinárico kárstico. Generación de cartografía hidrogeológica

DIKTAS, protection, management and sustainable use of the Dinaric Karst Aquifer System.

Generation of hydrogeological cartography

Alejandro Tello Martínez¹

1 Departamento de Geología. Universidad de Málaga. Málaga. Alejandro.tello.martinez@gmail.com

RESUMEN

Los Alpes Dináricos, situados en la Europa del Este, almacenan entre sus poros, fisuras y conductos kársticos, grandes cantidades de agua. Este sistema acuífero presenta agua subterránea de excelente calidad, en general. Más de un 95% del agua utilizada es subterránea y contrasta con el escaso uso del agua superficial, para el suministro urbano, agrícola y ganadero y presenta gran valor estratégico y fundamental para el desarrollo de la zona. Todo el sistema acuífero kárstico Dinárico, se sitúa sobre los territorios que fueron anteriormente parte de la Federación de Yugoslavia. Es una zona que, desde la Edad del Hierro, ha sido testigo de infinidad de conflictos bélicos, debido al elevado grado de diversidad cultural, étnica, religiosa e incluso idiomática. El último conflicto tuvo lugar hace unos 20 años con la denominada guerra de los Balcanes. Después de ésta y tras la desintegración de Yugoslavia en diferentes países, comenzó con la reconstrucción, que no siempre respetó y promovió un uso y gestión sostenible del agua, ni desde el punto de vista de su calidad ni de su cantidad. Con el Proyecto DIKTAS, ejecutado por la UNESCO, se intenta poner freno al declive del sistema acuífero de los Alpes Dináricos, fomentando una colaboración efectiva entre los países ex miembros de la antigua Yugoslavia. La elaboración de cartografía hidrogeológica se presenta como una de las fases más importantes del Proyecto DIKTAS, para la preparación de otros tipos de cartografía temática (mapas de vulnerabilidad a la contaminación, mapa de calidad del agua subterránea, mapas climáticos, etc.) que protejan el recurso de una forma mucho más clara y sencilla.

Palabras clave: acuífero, karst, Proyecto DIKTAS, SIG, transfronterizo

ABSTRACT

Dinaric Alps, located in Eastern Europe, have huge amounts of water in their pores, fissures and karst conduits. This aquifer system has a groundwater generally of excellent quality. More than 95% of water use is groundwater and contrasts with the scarce use of surface water for urban supply, agriculture and livestock and becomes a being of great value strategic

and fundamental for the development of the area. The whole Dinaric Karst aquifer system is located on the territories that were formerly part of the Federation of Yugoslavia. These areas from the Iron Age have witnessed countless wars, due to the high diversity of cultural, ethnic, religious and even linguistic. The final conflict took place 20 years ago with the so-called Balcan War. Following the same and after the breakup of Yugoslavia in different countries, began with the reconstruction, which has not always respected and promoted a sustainable use of water resource, neither from the point of view of its quality nor its quantity. The DIKTAS Project, executed by UNESCO, is trying to reverse the decline of the aquifer system of the Dinaric Alps, promoting effective collaboration between former members of old Yugoslavia. The development of hydrogeological mapping is presented as one of the most important phases of the DIKTAS Project for the preparation of other types of thematic maps (vulnerability maps to pollution, groundwater quality maps, climate maps, etc.) to protect the resource in a much clearer and simpler way.

Key words: aquifer, karst, DIKTAS Project, GIS, transboundary

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar tengo que agradecer al Doctor Bartolomé Andreo Navarro por haberme ofrecido la oportunidad de haber participado en un proyecto de tal calibre. Gracias al Doctor Neno Kukuric por la atención recibida en mi estancia en Trebinje; al Doctor Stevanovic por ilustrarme con sus conocimientos e interesarse por mi trabajo de fin de máster; a Zeljko Zubac, por haberme ayudado en todo momento; a Zika, por solventar todas mis dudas existenciales.

Y sobre todo a Vedrán Furtula, compañero y amigo que hizo posible una de las experiencias más fructíferas de mi vida.

Con respecto a la UNESCO, he de dar las gracias por haber permitido la participación activa de un estudiante en prácticas de máster, así como por haber financiado su estancia y manutención. El presente trabajo de fin de máster se incluye dentro del proyecto DIKTAS, con la colaboración activa en el mismo.

LISTADO DE FIGURAS

1	Bloque diagrama característico del sistema acuífero kárstico Dinárico	2
2	Localización geográfica del Karst Dinárico	3
3	Alpes Dináricos y otras cadenas alpina	4
4	Mapa geológico de los Alpes Dináricos	5
5	Esquema del bura	7
5A	Situación anticiclónica Bura	9
6 B	Situación ciclónica Bura	9
7	Mapa de isoyetas de Croacia, BH y Montenegro	10
8	Mapa europeo de suelos para los Dinárides	11
9	Mapa europeo de regiones biogeográficas para los Dinárides	13
10	Área ocupada por la cuenca hidrográfica del mar Negro	14
11	Porcentaje del área de cada país en la cuenca del mar Negro y del mar Adriático	15
12	Cuenca hidrográfica vertiente al mar Negro	16
13	Cuenca hidrográfica del mar Adriático	17
14	Perfil longitudinal N-S con los represamientos y diferentes niveles estructurales	18
15	Panorámica de la desembocadura del río Neretva	19
16a	Crucero en la costa Adriática	19
16 b	Turismo en Mostar	19
17	Red subterránea natural (pónors-manantiales) y antrópica (túneles)	22
18	Sistema acuífero transfronterizo entre Croacia y Bosnia-Herzegovina	24
19	Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Una	25
20	Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Cetina	26
21	Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Neretva	27
22	Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Trebisnjica	28
23	Vista del polje de Popovo	28
24	Vista del lago Bilecko desde la presa de Grancarevo	29
25	Esauema hidrogeológico del lago Bilecko	30

26	Panorámica del lago Skadar desde su borde noroeste31
27	Vista satélite lago Skadar31
28	Proyectos transfronterizos financiados por el GEF37
29	Presa de Grancarevo42
30	Zona costera del Karst Dinárico44
31	Aguas residuales vertidas al río Trebisnjica a su paso por Trebinje46
32	Vertedero ilegal en Gacko48
33	Instantánea de industria química en Foca49
34	Proteus anguinus en la cueva de Vjetrenica
35	Cuadro sintético de la leyenda estándar60
36	Fases para la elaboración de un mapa hidrogeológico
37	Captura de imagen con las shapefiles creadas para Montenegro71
38	Captura de imagen con las propiedades de la shapefile rivers_mont y Gaus Kriger72
39	Captura de imagen donde se aprecia la vectorización del río Moraca73
40	Captura de imagen con la vectorización de una carretera73
41	Captura de imagen donde se aprecia la vectorización de una carretera con gran detalle74
42	Vectorización del lago Skadar y frontera entre Montenegro y Albania74
43	Árbol de geodatabase75
44	Mapa digital de Montenegro76
45	Cuencas hidrográficas d Bosnia-Herzegovina
46	Ríos Bosnia-Herzegovina
47	Fronteras entre países
48	Mapa de carreteras de Bosnia-Herzegovina79
49	Núcleos de población de Bosnia-Herzegovina79
50	Hoja de Belgrado después de recortarla, sin bordes ni latitud/longitud80
51	Asignación del sistema de coordenadas ETRS 1989 Europe para Belgrado81
52	Mapa georrefenciado de la Federación de Yugoslavia (ERTS 1989 Europa)82
53	Calibración del borde Croata con la shapefile83
54	Calibración de ríos en Bosnia-Herzegovina con shapefiles
55	Detalle de la georreferenciación del río Kupa y Dobra con las cruces rojas y azules84

56 a Detalle del río Neretva antes de la digitalización	.84
56 b Detalle del río Neretva después de la digitalización	.85

LISTADO DE TABLAS

1	Acuíferos transfronterizos y compartidos y flujo del agua subterránea23
2	Tipo de alcance, objetivos y grupos a los que van dirigidas las acciones según la UNDP53
3	Parámetros orientativos para determinar la productividad de un acuífero
4	Coloración utilizada según el tipo de acuífero y su productividad68

INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los recursos hídricos necesita de los mapas hidrogeológicos, como herramienta indispensable. Es por ello que se estima de vital importancia disponer de una adecuada cartografía hidrogeológica, como paso previo a cualquier proyecto de gestión.

Mucho esfuerzo ha tomado la generación de una buena base cartográfica a lo largo del globo terrestre. El mapa hidrogeológico internacional de Europa (*Federal Institute for Geosciences and Natural Resource-BGR*) es un buen ejemplo de ello, puesto que se comenzó en el año 1960 y actualmente se encuentra en fase de digitalización. Por lo tanto, existen territorios que carecen de una cartografía adecuada y en gran parte deriva en una mala gestión del recurso hídrico, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. Más en concreto, la zona sur oriental de Europa figura como "en preparación" de la cartografía (BGR, EGS y UNESCO, 2011). El desarrollo técnico e informático actual ha modificado la forma de concebir un mapa y ha permitido, entre otros muchos aspectos, la generación de cartografía temática, de gran valor para la ordenación del territorio, así como para la protección del recurso agua.

En la 19ª reunión del *Consejo* Intergubernamental del *Programa Hidrológico Internacional* (PHI) de la *UNESCO* celebrada en junio del año 2000, se adoptó la determinación de promover los estudios relativos a los sistemas acuíferos transfronterizos y, en consecuencia, poner en marcha el programa de gestión de los recursos de los acuíferos compartidos internacionalmente (*Internationally Shared Aquifers Resources Management*-ISARM). El objetivo del programa es mejorar los conocimientos científicos existentes, proporcionar una evaluación global de los acuíferos transfronterizos y formular los principios comunes para la gestión de los recursos estos acuíferos.

En cumplimiento de los objetivos de la ISARM, el Proyecto DIKTAS denominado con el acrónimo DIKTAS (*Dinaric Karst Aquifer System*), se planteó como una oportunidad para optimizar la gestión de los recursos hídricos, almacenados en el acuífero transfronterizo Dináride, evitar su deterioro y subsanar el impacto originado hasta el momento. Se propuso la creación de una buena base cartográfica como una de las fases previas a partir de la cual producir mapas temáticos.

Pocos proyectos de la importancia del DIKTAS han sido desarrollados en los Alpes Dinárides con motivo de la búsqueda de una mejor gestión. Prácticamente todos ellos se llevaron a cabo a lo largo de la segunda Yugoslavia, ya disuelta. La información referida a los mismos, tras la desintegración de Yugoslavia, se perdió en su mayoría y es complicado por tanto, dar una visión algo más concreta.

Con este trabajo de fin de máster se pretende, por un lado, introducir al proyecto en la realidad político-económica y social actual de los Balcanes, aportar las claves históricas

necesarias para entender el porqué de la dificultad en su aplicación, enfatizando finalmente, en el valor que una acción colaboradora de este tipo tiene para el futuro de la zona. Por otro lado, se contribuye con el mapa hidrogeológico en soporte digital correspondiente al acuífero kárstico de los Dinárides, mediante Sistemas de Información Geográfica y partiendo del conocimiento hidrogeológico. Para ello, previamente se ha generado una base de datos, producto de la recopilación de toda la información disponible, aunque dispersa y en muchos casos incompleta, aportada por cada uno de los principales países colaboradores del proyecto: Albania, Bosnia-Herzegovina, Croacia y Montenegro.

Además, se cumple con otro de los objetivos fundamentales para el Proyecto DIKTAS como es el de fomentar la colaboración internacional. Bartolomé Andreo, en nombre de la CEHIUMA, en la primera reunión del proyecto DIKTAS, celebrada en Trebinje en el año 2010, entre otras propuestas de colaboración, ofreció la posibilidad de la estancia de un estudiante en prácticas para la realización de un trabajo de fin de máster.

OBJETIVOS

El presente trabajo de fin de máster tiene un objetivo general y tres objetivos específicos. El objetivo general es el reconocimiento preliminar del acuífero kárstico transfronterizo de los Alpes Dinárides y la generación de la cartografía hidrogeológica como parte de una de las primeras fases del proyecto DIKTAS.

Este objetivo global puede desarrollarse mediante tres objetivos específicos o particulares:

- Recopilar y sintetizar toda la información escrita y disponible del proyecto DIKTAS.
- Conocer sobre el terreno las principales características hidrogeológicas del acuífero Dináride en el sector de Trebinje y su entorno y conocer los factores que condicionan la gestión del agua.
- Revisar, corregir y actualizar los datos geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos disponibles en el área objeto de estudio, a través de la utilización de los Sistemas de Información Geográfica.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

DIKTAS es el acrónimo del *Dinaric Karst Transboundary Aquifer System* y se desarrolla a lo largo de los grandes relieves carbonatados de los Alpes Dináricos o Dinárides (en serbo-croata *Dinarsko Gorje o Dinara Planina*) (Fig. 1).

1.1 LOCALIZACIÓN

El sistema acuífero kárstico de los Alpes Dinárides se extiende por la zona más oriental de Europa, a lo largo de la península balcánica e inundado en su parte más occidental por el Mar Adriático. Conocido como uno de los mayores sistemas acuíferos del mundo, se extiende por países como Italia, Eslovenia, Croacia, Bosnia-Herzegovina, Montenegro, Albania y Grecia (Fig. 2).

Por el norte, los Alpes Julianos (en esloveno *Julijske Alpe*; en italiano *Alpi Giulie*) y por el sur, el monte Sar limitan los Alpes Dinárides latitudinalmente, el río Sava al este y el mar Adriático al oeste. Las coordenadas geográficas entre las que se encuentra son desde 46° 3′ a 42° latitud norte y de 13° 36′ a 20° 51′ longitud este. Tiene una longitud de casi 550 km, su anchura varía aproximadamente de 50 a 200 km y su superficie total es de más de 100000 km².

Los Alpes Dinárides poseen una altitud media de 900 m y varían desde 0 hasta 2694 m (pico Maja e Jezerces, Albania). Otros picos son: Daravica (2656 m) y Kolata (2553 m).

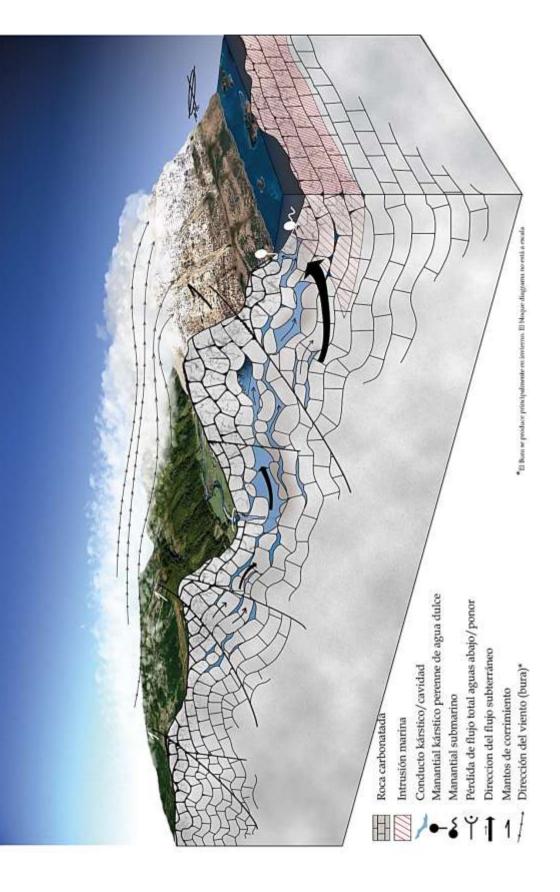




Figura 1 Bloque diagrama característico del sistema acuífero kárstico Dinárico.

Figura 2 Localización geográfica del Karst Dinárico, con cada uno de los países que lo forman. SLO, Eslovenia; HR, Croacia; BiH, Bosnia-Herzegovina; MNE, Montenegro; ALB, Albania.

1.2 GEOLOGÍA

Los Dinárides forman un cinturón orogénico que se extiende a lo largo de más de 550 km en paralelo al mar Adriático (Fig. 3). Existe una intensa deformación, con pliegues, mantos de corrimiento, escamas tectónicas, cuya dirección principal es NO-SE y sentido de transporte hacia el SO. La división histórica, en Dinárides externos e internos, es anterior a la tectónica de placas, pero sigue siendo utilizada para diferenciar los elementos tectonoestratigráficos que pertenecen a los márgenes continentales activo y pasivo del Tethys, productos de la apertura y posterior cierre del mismo.

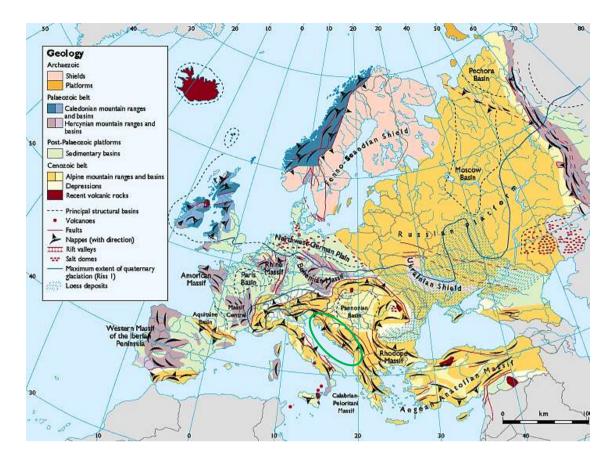


Figura 3 Situación de los Dinárides con respecto a otras cadenas alpinas (tomado de San Valero profesores).

Según Pamic et al., 1998, dentro de los Alpes Dinárides, se pueden distinguir (Fig. 4):

- 1. *Dinárides externos:* dentro de los cuales se distinguen (1)-depósitos de plataforma carbonatada Dináride, que comenzaron en el Paleozoico sobre el basamento Varisco en condiciones someras y terminaron en el Cretácico con condiciones pelágicas y (2)-formaciones clástico-carbonatadas (flysch Bosnio). Los carbonatos llegan a superar potencias de más de 5000 m.
- 2. *Dinárides internos:* (3)-ofiolitas del Mesozoico con radiolaritas y calizas pelágicas. (4)-unidades de margen continental activo con rocas volcánicas, granitos, etc.; mélange tectónica, klippe de Sava y zona Vardar.

Tanto en los Dinárides externos como en los internos aparece la denominada Unidad Tectonoestratigráfica Alóctona paleozoica-triásica, que se depositó discordante sobre el área norte de la plataforma carbonatada Dináride y sobre la zona más meridional de los Dinárides internos. Se trata de secuencias fundamentalmente carbonatadas y de rocas metamorfizadas de edad paleozoica y de sedimentos detríticos.

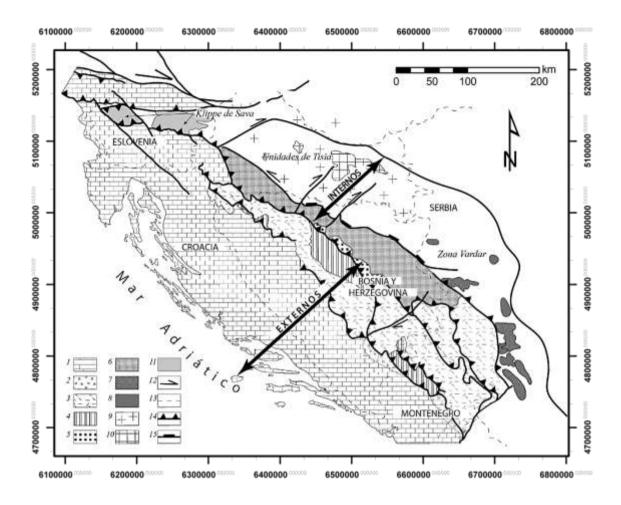


Figura 4 Mapa geológico sintético de los Alpes Dináricos. Modificado de Pamic (1998), Tomljenovic (2002), Schmid (2008) y Palinkas (2009), entre otros. Subdivisión de los Alpes en Dinárides externos y Dinárides internos. 1. Plataforma carbonatada Dináride; 2. Secuencias Paleógeno-Neógeno; 3. Unidad Tectonoestratigráfica Alóctona Paleozoico-triásica; 4. Flysch bosnio y Zona Prekárstica; 5. Secuencia radiolarítica; 6. Ofiolitas Dinárides; 7. Rocas volcánicas; 8. Melange tectónica; 9. Unidad de Tisia con cobertera neógeno cuaternaria; 10. Unidad de Tisia expuesta en superficie; 11. Klippe de Sava; 12. Falla de salto en dirección; 13. Frontera; 14. Falla inversa; 15. Bloque hundido.

El objeto de estudio son las rocas carbonatadas, por almacenar entre sus poros grandes cantidades de agua, que precisan una mayor investigación y una adecuada protección. No obstante, se hace referencia a otras rocas y sedimentos que se relacionan con las calizas y dolomías.

Los Dinárides forman un macizo carbonatado de gran extensión, que se eleva desde la región Panónica, hasta el mar Adriático, con una dirección estructural predominante NO-SE. A lo largo de toda la formación caliza se pueden distinguir claramente mantos de corrimiento con vergencia general hacia el SO, que se alternan con zonas intensamente plegadas.

1.3 CLIMATOLOGÍA

El clima de los Alpes Dináricos es muy variado debido a su propio relieve, el cual constituye una frontera natural que separa el clima continental del mediterráneo.

La temperatura media anual varía fuertemente con la altitud, desde los 15,3°C de Podgorica hasta 2°C en el parque nacional de Durmitor (Kovacs y Dobos en Mihevc et al., 2010). El efecto marino del Adriático, suaviza las temperaturas, sobre todo, en la costa y en las islas.

Zonas de clima mediterráneo: las temperaturas invernales en el suroeste de los Dinárides son más altas que en el borde noreste. Las temperaturas por debajo de cero son poco frecuentes en el sector costero, lo que contrasta con zonas de interior, donde nieva a escasos 170 m s.n.m. En verano, la temperatura en el sector costero suele estar por debajo de las zonas alejadas del Adriático. Los máximos de precipitación se detectan durante el invierno y el otoño.

Zonas de clima continental: la ausencia de una influencia marina tiene su resultado en temperaturas más extremas tanto diarias, como estacionales. A modo de ejemplo, la nieve puede permanecer en el suelo como media alrededor de un mes durante el invierno.

Otra de las diferencias con respecto al clima mediterráneo es una mayor precipitación durante los meses de verano, debido a temperaturas más altas que en la zona costera y que desencadenan eventos convectivos con generación de nubes de desarrollo vertical.

Por otro lado, la cadena montañosa permite la existencia de masas de aire de muy diferente temperatura y da lugar a un viento característico llamado Bora. Se trata de vientos fuertes fríos y secos, que se producen principalmente en invierno, aunque también se produce en otras estaciones del año.

El servicio naval meteorológico de los Estados Unidos detalla en uno de sus estudios en la zona Adriática, las características fundamentales del Bora. Durante el invierno (noviembre-febrero), la gran masa anticiclónica continental de Eurasia se mueve hacia el suroeste y atraviesa los Balcanes. Los fríos vientos del Bora son el resultado más patente de este patrón climático. Predomina un clima tormentoso e inestable con presencia de masas de aire en continuo movimiento. Durante el verano (junio-septiembre), el anticiclón invernal euroasiático es sustituido por una gran depresión continental centrada hacia el suroeste de Asia, y que combinado con el anticiclón de las Azores (dirección noreste), dan lugar a veranos cálidos y secos con suaves vientos.

La primavera y el otoño son estaciones que tienen una duración muy diferente. La primavera se extiende de marzo a mayo y se distingue claramente por periodos tormentosos que se alternan con días fundamentalmente veraniegos. El otoño es corto y, a veces, llega a durar escasamente el mes de octubre y se caracteriza por cambios climáticos bruscos hasta llegar al invierno.

Como uno de los eventos climatológicos más importantes de los Dinárides, el Bora deja tras de sí importantes inundaciones y diversos daños, tanto en la vegetación como

en las infraestructuras. Bora es el nombre local utilizado en el mar Adriático pero existen otros muchos lugares del mundo donde se produce el mismo evento y se le designan por otros nombres como Oroshi en Japón o Mistral en el mar Mediterráneo (Steven et al., 2002).

El Bora se diferencia de otro fenómeno muy bien conocido como es el efecto Foehn (*föhn*), en el sentido de movimiento y en el resultado final. El Bora se desplaza desde los relieves montañosos y desciende hacia la costa con un fenómeno de enfriamiento resultante. El efecto Foehn (viento anabático), en cambio, posee una componente clara ascendente hacia el relieve y causa un calentamiento generalizado.

Por lo tanto, el Bora es un viento de caída que tiene un origen inicial tan frio que cuando llegan a la costa, ni el calentamiento ocasionado por su descenso permite elevar la temperatura de la zona. Es lo que se conoce con el nombre de viento catabático, es decir, aquel producto de: enfriamiento del aire normalmente sobre los altos relieves, aumento de su densidad, movimiento hacia menores altitudes y calentamiento adiabático consecuente (Fig. 5).

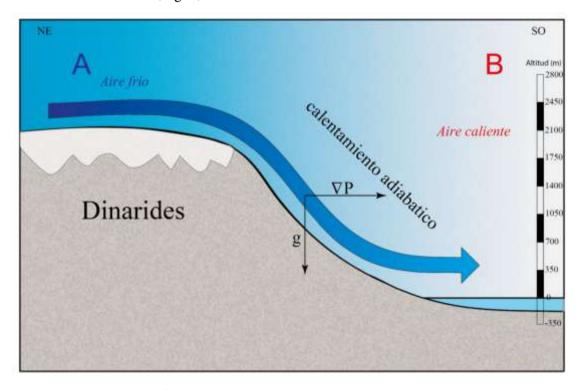


Figura 5 Esquema gráfico donde se describe el movimiento descendente del Bura desde el relieve Dináride hasta el mar Adriático.

Existen dos tipos de patrones climáticos que producen el Bora:

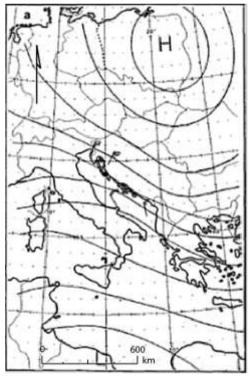
1. Situación anticiclónica (White Bora): el núcleo de las altas presiones se sitúa sobre

Europa central y un núcleo de bajas presiones no muy bien definido sobre el mar Mediterráneo. El *White Bora* es básicamente un viento seco y racheado, debido a su naturaleza catabática, ya definida. En esta situación climática, la temperatura es baja y mientras la visibilidad de la costa es buena, en las crestas de las montañas se encuentran espesos bancos de nubes. (Fig. 6 A).

2. Situación ciclónica (Black Bora): Un centro de baja presión está presente en el sur del Mar Adriático donde el clima es nuboso y lluvioso. El Black Bora se caracteriza por vientos menos intensos que los del White Bora, pero puede traer grandes cantidades de lluvia o nieve en la región. Con la situación ciclónica, el Black Bora va acompañado de nubes bajas y visibilidad reducida asociada con lluvia y/o llovizna. Estas condiciones son más evidentes en mar abierto que a lo largo de la zona costera. La mayor intensidad de la Bora se produce en las cumbres de las montañas de al menos 600 m s.n.m., y no más de dos o tres kilómetros tierra adentro (Fig. 6 B).

En cuanto a su extensión, el Bora a veces se encuentra muy localizado, extendiéndose a pocos kilómetros mar adentro desde la costa croata y de Montenegro. En otras ocasiones, el Bora abarca toda la costa adriática. Con alta presión situada sobre Europa Central y los Balcanes y con una presión relativamente baja en el Mediterráneo centrosur, el Bora puede extenderse hasta más allá del sur de Malta.

Atendiendo a las figuras 6A y 6B, la dirección predominante del Bora a lo largo de la costa Adriática es sur - suroeste.



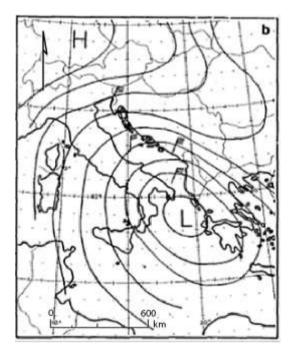
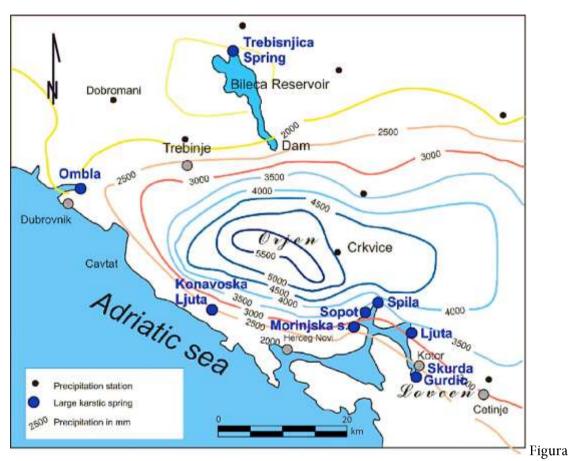


Figura 6 A. Situación anticiclónica Figura 6 B. Situación ciclónica (tomado Servicio Naval

Meteorológico de los Estados Unidos).

Con respecto a la precipitación sobre los Dinárides el valor medio varía de 800 a 2500 mm en Bosnia-Herzegovina, de 700 a 2500 mm en Croacia, de 2000 a 3000 mm en Albania y más de 3600 mm en Montenegro.

Como se puede observar en el mapa de isoyetas (Fig. 7), el relieve de Orjen, con más de 5000 mm/año (hasta 7000 mm/año) se sitúa entre una de las zonas que registra una mayor pluviometría de toda Europa.



7 Mapa de isoyetas de parte de Croacia, Bosnia-Herzegovina y Montenegro (tomado del DIKTAS WG, 2010).

1.4 EDAFOLOGÍA

Los suelos presentan un papel fundamental a la hora de abordar cualquier estudio hidrogeológico. Una mayor potencia o un mayor desarrollo de suelo es sinónimo de una mayor protección frente a contaminantes, así como de un mayor substrato donde se puede instalar la vegetación, que favorece la infiltración y disminuyen la erosión.

En general es escasa la presencia de suelos desarrollados a lo largo del territorio

ocupado por el sistema acuífero kárstico Dinárico. Los suelos azonales, es decir, los suelos jóvenes que no se han terminado todavía de formar, son la característica general en todo el sistema kárstico. Aun así, cabe destacar la existencia de áreas donde sí existen suelos zonados, de tipo luvisol o cambisol.

Como se puede observar en el mapa de suelos (Fig. 8), obtenido de la Base de Datos de Suelos Europea (ESDB - European Soil Database), se destacan para el área balcánica diferentes tipos de suelos, según la base referencial mundial para el recurso suelo del año 2006.



Figura 8 Mapa europeo de suelos, donde se observa la distribución de las diferentes tipologías de suelos. En la leyenda sólo se han introducido aquellos tipos de suelos con mayor presencia en el sistema kárstico Dinárico.

Como los dos tipos principales de suelos se pueden citar los *leptosoles* y los *cambisoles*. Hacia la zona costera, los leptosoles se disponen a lo largo de una estrecha

banda paralela al mar Adriático. Los cambisoles siguen la misma dirección aproximada NO-SE, a continuación de los leptosoles, tierra adentro.

Los *leptosoles*, como suelos azonales muy superficiales, se disponen sobre una capa continua de roca carbonatada, generalmente con menos de 10 cm de espesor, que a veces aflora en superficie. Son suelos gravillosos con cantos carbonatados en su matriz y que en algunas ocasiones desarrollan un horizonte móllico con más de 1% de materia orgánica (Anexo 1).

Los *cambisoles*, son la tipología de suelo más abundante en el Karst Dinárico. Presentan un nivel más de desarrollo que los leptosoles, dado que tienen al menos un horizonte edáfico subsuperficial. El grado de meteorización de la roca madre varía de ligera a moderada y son suelos de menor granulometría que los anteriores.

Asociados a los cursos fluviales de los principales ríos que discurren por los Alpes Dinárides, aparecen los denominados *fluvisoles*. Los ríos Neretva, Una o Krka presentan este tipo de suelos en sus valles como consecuencia de la dinámica sedimentaria. Son suelos jóvenes, con depósitos aluviales recientes de granulometrías finas a gruesas, con evidente estratificación pero ausencia de horizontes edáficos desarrollados. En algunos casos, se observa un horizonte muy superficial donde se instala vegetación riparia.

Hacia el límite norte del karst se encuentra una tipología de suelo denominada *luvisol*. Se trata de suelos débilmente zonados con mayor proporción en arcilla hacia niveles inferiores y situados en áreas de escasa pendiente. En este caso, el material parental no son las rocas carbonatadas, sino depósitos sedimentarios aluviales no consolidados. Debido a su fertilidad y a su ripabilidad, son excelentes para el uso agrícola.

Los *stagnosoles* se encuentran dispersos y ligados a ríos y lagos con aguas estancadas, al menos periódicamente, como consecuencia de la mínima pendiente. Su granulometría tiende a ser arcillosa o limosa y el material parental lo forman aquellos sedimentos depositados en un régimen más vivo, de aguas rápidas. Suelen poseer un mal olor como consecuencia de la acumulación de materia orgánica en condiciones reductoras lo cual los imposibilita, al menos en primera instancia, al uso agrícola.

En la zona más meridional, aparecen los *regosoles*, suelos escasamente desarrollados, de granulometría fina, sobre material no consolidado, como consecuencia de las condiciones áridas.

Otras tipologías minoritarias de suelos a lo largo de la zona de estudio son: los *podzoles*, los *vertisoles*, o los *umbrisoles*.

Las elevadas pendientes, así como los escarpados relieves de los Dinárides, dan lugar a una fuerte erosión. Este hecho, unido a un clima mediterráneo, a la escasa cobertera

vegetal en algunas zonas y a las lluvias torrenciales, genera tipologías de suelos poco desarrollados, con escasa zonificación y con la roca madre caliza prácticamente en superficie. Los suelos poseen una cierta componente ácida, debido al origen carbonatado y poseen coloraciones rojizas a marrones, con granulometrías arcillo-arenosas. Estos suelos se conocen con el nombre de *terra rossa*, un subtipo de suelo mediterráneo (Feng et al., 2008).

1.5 VEGETACIÓN

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) distingue dos regiones biogeográficas en los Alpes Dináricos (Fig. 9). Hacia su parte más occidental aproximadamente un 60% puede ser agrupado dentro de la región mediterránea, mientras que el restante territorio pertenece a la región alpina.

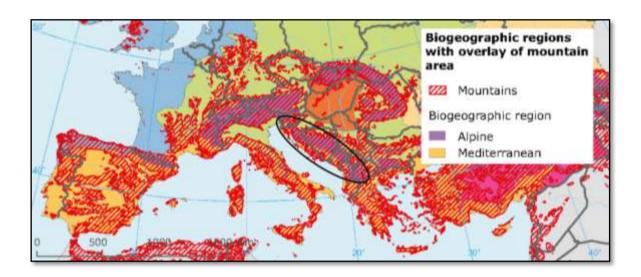


Figura 9 Mapa europeo de las regiones biogeográficas. Distribución de las regiones biogeográficas en los Alpes Dinárides: alpina y mediterránea.

La región biogeográfica mediterránea, según Leisz (1982) en Boydak (1997) está influenciada por el clima mediterráneo, esto es, existe en un área que se caracteriza por: (1) veranos templados a cálidos e inviernos suaves; (2) moderada influencia de aire marino durante todo el año; (3) precipitaciones moderadas concentradas durante los meses de invierno, con veranos muy secos; y (4) períodos extensos de tiempo soleado y poco nublado, especialmente en el verano.

La región biogeográfica alpina (Red Natura 2000) se caracteriza por un clima relativamente frío y árido, elevadas altitudes y una topografía muy diversa y a menudo complicada. Los pastos naturales y los bosques cubren las vertientes más bajas, pero, según va incrementándose la altitud y descienden las temperaturas, los árboles escasean cada vez más, para finalmente dejar paso a los pastos alpinos, páramos y matorrales de

brezo. A máxima altitud, entre la roca y la nieve, la vegetación se reduce a sólo un pequeño grupo de plantas adaptadas, con capacidad para tolerar condiciones ambientales tan exigentes.

La existencia de suelos ácidos, sobre las rocas calizas, favorece el crecimiento de plantas acidófilas, como las coníferas, arbustos como el brezo, etc.

En *alta montaña*, con bajas temperaturas medias y fuertes vientos, escasea la vegetación arbórea y sólo se desarrollan herbáceas y arbustos dispersos, estos últimos hacia la transición con el siguiente piso climático, de menor altitud. A *menor altitud* comienza a aparecer la vegetación arbórea, con las coníferas como orden fundamental. Cerca de la *costa*, con temperaturas medias generalmente altas y con poca variabilidad térmica a lo largo del año, debido a la influencia marina, abundan las comunidades abiertas de arbustos o matorrales, con la formación de montículos bajos separados por roca desnuda y es lo que se conoce con el nombre de garriga, con comunidades vegetales resistentes a la sequía.

1.6 HIDROLOGÍA

Desde el punto de vista hidrológico, en el Karst Dináride se pueden diferenciar, a gran escala, dos cuencas hidrográficas: la *cuenca vertiente al mar Negro*, situada al norte y la *cuenca del mar Adriático*, situada al sur.

La primera de ellas, posee un área total de más de 2000000 km² (UNECE, 2002) (Fig. 10) e implica a más de una docena de países, desde la parte más oriental de Rumania hasta Alemania pasando por Hungría, Austria o Eslovaquia. Pero en lo que respecta a la zona de estudio, sólo unos 81264 km² pertenecen al Karst Dináride. De ese total, 38719 km² pertenecen a Bosnia-Herzegovina, 35000 km² a Croacia y 7545 km² a Montenegro (DIKTAS WG, 2010).



Figura 10 Área ocupada por la cuenca hidrográfica del mar Negro (tomado de Borysova et al., 2005).

La cuenca del mar Adriático, de menor extensión que la cuenca vertiente al mar Negro (cuenca del río Danubio) se extiende por 40083 km² en los Dinárides, de los cuales 12410 km² se encuentran en Bosnia-Herzegovina, 21406 km² en Croacia y 6267 km² en Montenegro (DIKTAS WG, 2010).

Porcentualmente, Croacia y Bosnia-Herzegovina, presentan áreas parecidas en la cuenca vertiente al mar Negro (Fig. 11), mientras que Montenegro sólo representa un nueve por ciento del área total. En la cuenca del mar Adriático, el país que representa un mayor porcentaje de área es Croacia con un 53%; Bosnia-Herzegovina y Montenegro ocupan menores porcentajes.

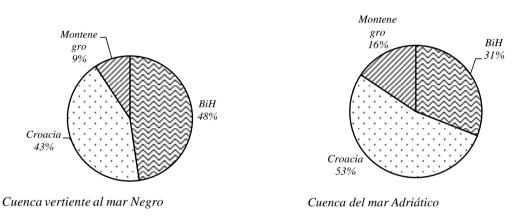


Figura 11 Porcentaje del área de estudio que cada país representa en la cuenca vertiente al mar Negro y en la cuenca del mar Adriático.

En la cuenca hidrográfica vertiente al mar Negro el río más importante es el Danubio y uno de sus afluentes (margen derecha) de mayor entidad es el río Sava, que discurre a lo largo de la zona más septentrional de la llanura Panónica (Fig. 12) con una dirección aproximada oeste-este y es alimentado por los numerosos cursos de agua que drenan los Alpes Dináricos. Los principales afluentes del río Sava, de oeste a este, son: Kupa, Una, Vrbas, Bosna y Drina.

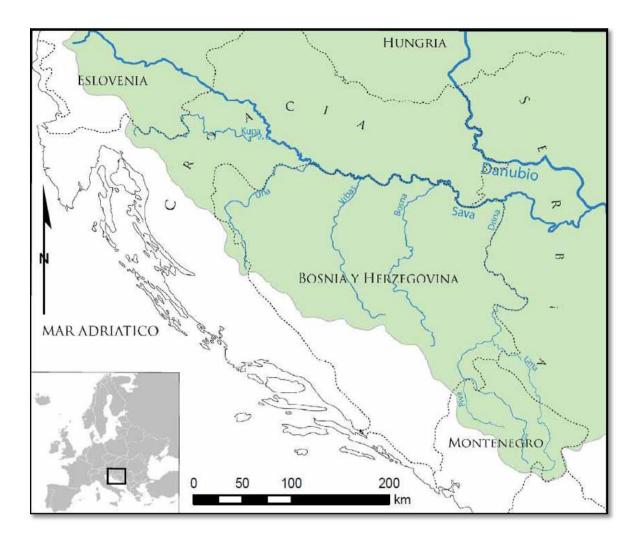


Figura 12 Cuenca hidrográfica vertiente al mar Negro.

La cuenca hidrográfica del mar Adriático (Fig. 13), a diferencia de la cuenca vertiente al mar Negro, tiene una relación directa con el mar, la cual adquiere un papel fundamental tanto en la calidad de las aguas como en la dinámica de flujo, principalmente en los cursos bajos de los ríos. Varios cursos fluviales recorren la cuenca con direcciones aproximadas NE-SO, y los más importantes son, de oeste a este: Krka, Neretva y Trebisnjica. El río Trebisnjica representa un claro ejemplo de un curso fluvial, que nace de un manantial kárstico, discurre sobre substrato calizo con gran desarrollo kárstico y muere en un pónor. Nace cerca del pequeño pueblo de Bileca y discurre a lo largo de un estrecho, pero profundo, valle. Aguas arriba y abajo del pueblo bosnio de Trebinje, parte de las aguas se infiltran y aparecen en el manantial de Ombla, en la vecina población croata de Dubrovnik. Finaliza su recorrido en un sumidero kárstico situado a escasos kilómetros de Hotovo. Cabe añadir una referencia al lago Skadar, situado en la frontera entre Montenegro y Albania, como el mayor lago de toda el área balcánica. Su tamaño es variable, según las aportaciones recibidas, entre 360 km² y 500 km², con volúmenes de agua entre 1,75 y 4,25 km³ (DIKTAS WG, 2002). Otros lagos, de menores dimensiones, se encuentran dispersos en los Balcanes tales como Blidnje, el mayor de Bosnia-Herzegovina situado en su parte central o el lago Perucko, en Croacia.

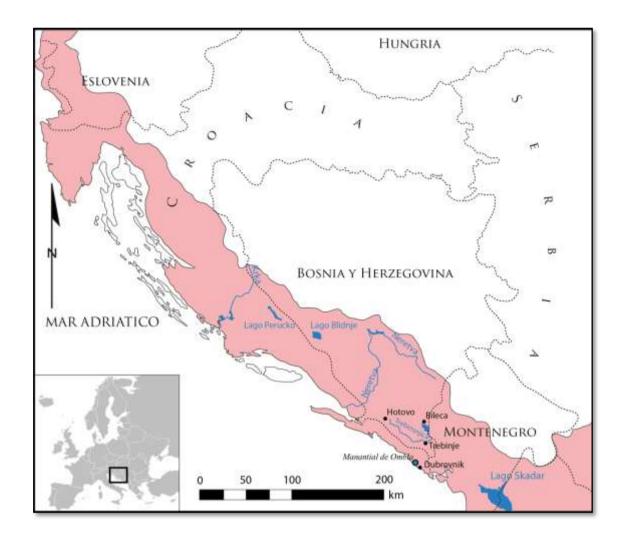


Figura 13 Cuenca hidrográfica del mar Adriático.

Alrededor de un 54% del agua dulce que fluye por los ríos se aprovecha para los siguientes usos (DIKTAS WG, 2010):

i. Abastecimiento doméstico e industrial

El abastecimiento de la población mediante una red de suministro es todavía escaso en relación con países europeos, pero se ha aumentado a lo largo de la última década. El porcentaje de hogares que se aprovechan de un suministro público es mayor en la cuenca del mar Adriático que en la del mar Negro. A pesar de ello, el conjunto de islas croatas no posee un adecuado suministro y recibe el agua de plantas desalinizadoras o, desde tierra adentro, mediante cisternas transportadas por barcos. En Albania sólo tienen redes de suministro los pueblos más importantes. Más de un 95% del agua que se utiliza es subterránea.

ii. Energía hidroeléctrica

La presencia de presas en los cursos fluviales, además de producir energía

eléctrica, reduce el riesgo de inundación y permite gestionar el agua de una manera más efectiva a lo largo del año, así como otros usos como el recreativo. La mayor parte de las centrales hidroeléctricas se sitúan en la cuenca del mar Adriático, para aprovechar los grandes desniveles que ofrecen los Alpes Dináricos. Croacia y Bosnia-Herzegovina ya se han utilizado muchas de las zonas más adecuadas para implantar embalses y hay diversos planes para seguir aumentando el uso del agua. Numerosos túneles conectan los diferentes niveles estructurales (Fig. 14). En cambio, Montenegro y Albania se encuentran mucho menos desarrollados en este sentido y utilizan sólo una pequeña parte de su gran potencial para la generación de energía eléctrica, pero también tienen varios proyectos de construcción de presas y túneles.

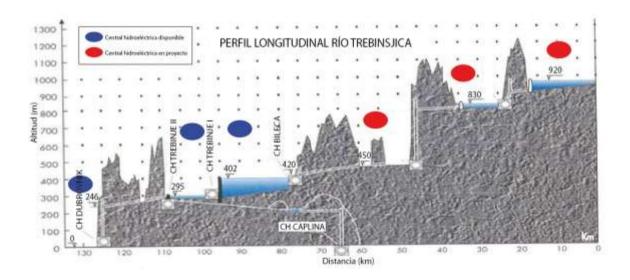


Figura 14 Perfil longitudinal N-S con las presas situadas a diferentes niveles estructurales (tomado del DIKTAS WG, 2010).

iii. Riego

En Croacia, años atrás, predominaban los cultivos de secano de trigo y maíz, pero a finales de los años 80 aumentaron las superficies destinadas a regadío y como consecuencia, se generó un déficit del agua sobre todo en los años más secos (Fig. 15). El origen del agua a veces es superficial y directo (ríos), o indirecto (mediante conducciones que conectan los lagos con la zona agrícola) y en algunos casos es subterráneo, pero sin ningún control con respecto a su cantidad y a su calidad. Por otro lado, es importante señalar el problema de salinización hacía la zona costera, como consecuencia del avance de la cuña salina tierra adentro. Aquellos cultivos que se sitúan más cercanos a la costa, se encuentran con un agua de riego de escasa calidad química, rica en sales, que disminuyen su productividad.

En Bosnia-Herzegovina hasta ahora el uso de agua para riego ha sido escaso,

debido al poco desarrollo agrícola de la región. No obstante, se pretende en el futuro incrementar esta actividad como un motor adicional de la economía del país.



Figura 15 Panorámica de la desembocadura del río Neretva (Croacia), donde existe una gran actividad agrícola.

iv. Otros usos. Piscifactorías y turismo

El número de turistas que ha recibido cada uno de los países de la antigua Yugoslavia se ha visto incrementado a lo largo de los últimos años, después de la guerra de los Balcanes, en las costas de Eslovenia, Croacia (Fig. 16a), Montenegro y Albania. El turismo de interior es menos importante y se ve absorbido por los principales núcleos urbanos como Zagreb (Croacia), Mostar (Bosnia-Herzegovina) (Fig. 16b) o Sarajevo (Bosnia-Herzegovina), entre otros.





Figuras 16a Crucero en la costa Adriática en Dubrovnik (Croacia), 16b Turismo en Mostar (Bosnia-Herzegovina).

1.7 HIDROGEOLOGÍA

El Karst Dinárico es un ejemplo típico de holokarst, compuesto enteramente por

rocas carbonatadas y caracterizado por la existencia de formas kársticas, tanto en superficie como en profundidad (Milanovic, 2005).

Las condiciones climáticas, con altas precipitaciones favorecen la disolución rápida y efectiva de las rocas carbonatadas.

En esta zona existen numerosas formas características de un medio kárstico como: dolinas, poljes, valles secos, ríos perdedores, estavellas, pónors, cuevas, etc. Muchas veces estas formas llegan a superar el número de 30 por km². Milanović (1979) llegó a registrar más de 500 pónors y estavellas a lo largo del polje de Popovo (Bosnia-Herzegovina), por donde discurre el río Trebisnjica (Anexo 1). Así, en un área de 68 km² la proporción fuera de alrededor de 7,4 pónors por km². Otros científicos estudiaron también otras muchas áreas del sistema acuífero kárstico Dinárico: Ballif (1896), en Gams (2005) contabilizó 52 poljes; Serko (1947), en Gams (2005) diferenció entre 70 uvalas y 24 formas transicionales entre uvala y polje y 114 poljes; Gams (1978), en Gams (2005) listó los 42 poljes más importantes, y Jelavic (1982), en Gams (2005) encontró varios cientos de poljes. Respecto a cuevas, entendidas por cavidades y conductos kársticos explorables por el ser humano, se han contabilizado infinidad de ellas en los Dinárides, aunque se estima que sólo una pequeña parte de ellas ha sido estudiada.

Uno de los conductos kársticos más importantes de los Dinárides es la cueva Vjetrenica. Se encuentra al SE de Bosnia-Herzegovina, en la federación de Bosnia-Herzegovina y muy cercano con la frontera croata, en los relieves carbonatados que se levantan sobre la superficie del polje de Popovo. Posee 6384 m de longitud y fue declarada como monumento natural en el 2005 (Lucic et al, 2005). El nombre de Vjetrenica hace referencia al aire en movimiento, al viento. Su geometría, así como la muy alta diferencia de temperatura entre el interior de la cueva y el exterior, favorecen una circulación efectiva del viento, con velocidades que pueden llegar a alcanzar los 9,8 m/s. Las aguas que discurren por los poros, fisuras y galerías de la cueva Vjetrenica acaban en las aguas del mar Adriático mediante de un elevado número de manantiales superficiales o submarinos (Stevanovic, comunicación personal).

Otra forma kárstica característica en los Dinárides es el pónor. Como si de un libro de geomorfología kárstica se tratase, los pónors al igual que todas las demás formas kársticas se encuentran en gran número. Con respecto a la capacidad de absorción de los pónors característicos del Karst Dinárico, en el pónor de Slivlje (polje de Niksicko), se infiltra hasta 120 m³/s, en el pónor de Kovaci (polje de Duvanjsko), 60 m³/s y el pónor de Ponikva (polje de Dabarsko) alrededor de 20 m³/s (Milanovic, 2005).

La porosidad es consecuencia de factores lito-tectónicos y del proceso de karstificación. De acuerdo con los datos registrados, la porosidad efectiva de las rocas carbonatadas en los Dinárides, se sitúa en un rango de 0,2 a 4% y puede llegar, incluso hasta un 10%. Por lo general, disminuye con la profundidad. En la parte este de Herzegovina, Milanovic (1979) trató los datos de cerca de 140 ensayos de inyección en zonas cuya altitud variaba desde 200 a 1000 m s.n.m. y confirmó la relación inversa que existe entre la porosidad y la profundidad. Así, el Karst Dinárico se caracteriza por una

karstificación que puede alcanzar hasta 500 m, aunque este hecho no se puede generalizar y depende fundamentalmente de la existencia o no fracturación que permita una infiltración preferencial. A nivel regional, la karstificación alcanza una profundidad media de 250 m (Milanovic, 2005).

Según los ensayos de trazadores, la velocidad del agua subterránea varía desde los 0,11 hasta los 18 cm/s, aunque la velocidad más frecuente es de 2 a 5 cm/s en el área transfronteriza. Cabe citar algunos ejemplos de las velocidades detectadas entre puntos de inyección y los siguientes manantiales: 4,1 cm/s en Meruz (Bosnia-Herzegovina) (Sliskovic, 1995), 8,1 cm/s en el manantial de Golubinka, en la costa Croata (Fritz, 1976 en Pavicic et al., 2006), 5 cm/s en el manantial de Zeleni Vir, al noroeste de Croacia, en la localidad de Ravna Gora (Stadler et al., 2011).

La red hidrológica superficial se encuentra desorganizada y no jerarquizada y sólo existen ríos de pequeña entidad, debido a la rápida infiltración del agua meteórica a través de la red de fisuras. Esto contrasta con las grandes cantidades de agua que discurren por el karst subterráneo.

La conexión entre diferentes relieves kársticos se hace subterráneamente, en forma de cascada, entre los diferentes niveles de altitud. El agua inicialmente circula en forma de cursos superficiales, después se infiltra en los niveles superiores, discurre como agua subterránea y vuelve a aparecer en los niveles inferiores. Gran parte de esa agua subterránea aparece finalmente en forma de manantiales submarinos a lo largo de toda la costa adriática (Fig. 17).

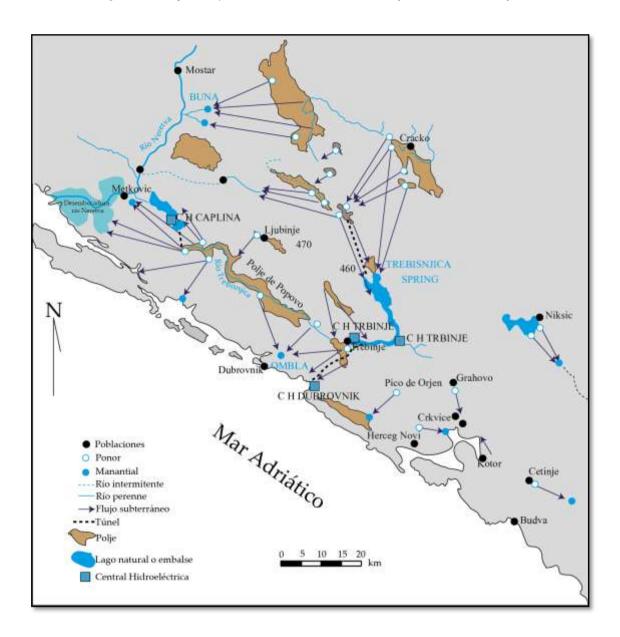


Figura 17 Red subterránea natural (pónors-manantiales) y antrópica (túneles). Modificado de Petar WG (Trebinje *meeting*, 2010).

Las oscilaciones de los niveles piezométricos pueden llegar a ser muy elevadas. Como ejemplo se podría citar el manantial de Ombla (Croacia), donde la variación del nivel piezométrico puede llegar a 200 m. La velocidad de ascenso del nivel piezométrico puede superar 370 cm/h (89 m/día). Este hecho pone en evidencia, aún más, el comportamiento kárstico del acuífero, con rápidas respuestas, almacenamiento escaso y capacidad de regulación reducida. Así, en los períodos más secos del verano, los niveles piezométricos sufren importantes descensos, disminuyen los aportes de los manantiales y, en ocasiones, llegan a secarse por completo.

Definición de los acuíferos transfronterizos

La definición de cuáles son los diferentes acuíferos o sistema de acuíferos a lo largo de la zona de estudio se presenta como una de las tareas más importantes antes de su estudio en profundidad (DIKTAS WG, 2010).

Por lo general, los acuíferos transfronterizos, como su propio nombre indica, son ajenos a fronteras, de modo que se encuentran compartidos entre los diferentes países (tabla 1):

- L. Croacia y Bosnia-Herzegovina
- II. Bosnia-Herzegovina y Montenegro
- III. Montenegro y Albania

No	Acuífero transfronterizo	Compartido entre	Sentido del flujo subterráneo
1	Una(Una-Pljesevica)	Croacia y B-H	De CRO a B-H
2	Cetina	Croacia y B-H	De B-H a CRO
3	Neretva	Croacia y B-H	De B-H a CRO
4	Trebisnjica	Croacia y B-H	De B-H a CRO
5	Lago Bilecko	B-H y Montenegro	De MN a B-H
6	Lago Skadar	Albania y Montenegro	-

Tabla 1.-Síntesis de los diferentes acuíferos transfronterizos y compartidos así como el sentido de flujo preferencial del agua subterránea.

1. Croacia y Bosnia-Herzegovina

La frontera entre Croacia y Bosnia-Herzegovina es la que tiene la mayor longitud de

toda la región de estudio y por ello intersecta con diferentes límites acuíferos (transfronterizos) (Fig. 18).

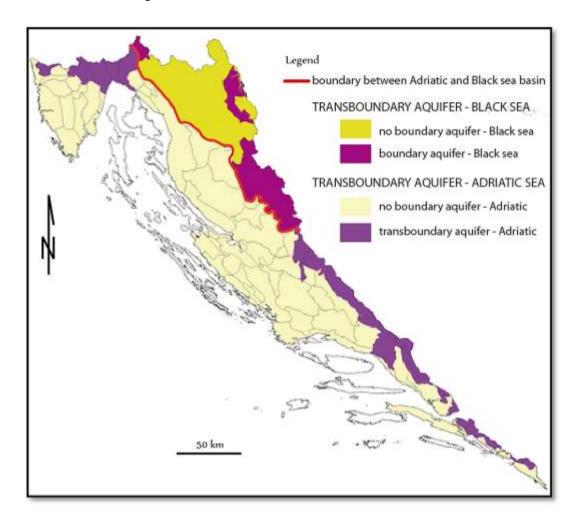


Figura 18 Sistema acuífero transfronterizo entre Croacia y Bosnia-Herzegovina.

I. a Una

Este acuífero está situado en la parte noroeste de los Dinárides externos, en el territorio de Bosnia-Herzegovina y en la zona central de Croacia. El flujo de agua subterránea se produce desde el territorio de Croacia hacia Bosnia-Herzegovina, como demuestran los ensayos de trazadores. Hay tres conexiones probadas entre varios puntos: 1) un pónor con un manantial 2) varios pónors relacionados con la misma surgencia, 3) varios pónors en conexión hidráulica con varios manantiales. El segundo y el tercero son casos más frecuentes que el primero (Fig. 19).

Las velocidades del flujo subterráneo que se deducen de los ensayos de trazadores muestran gran variación, incluso para los manantiales que comparten un mismo sumidero kárstico.

Se han realizado análisis de isótopos estables que han demostrado (Babinka y Suckow,

2005) que una parte del agua recogida en áreas puntuales llega a permanecer retenida hasta 5 años en el interior del acuífero. No obstante, esto ocurre en circunstancias muy concretas y se suelen detectar, en general, periodos de retención mínimos.

El agua subterránea del acuífero transfronterizo Una se utiliza principalmente para el abastecimiento urbano, aunque una pequeña parte se destina al sector industrial.

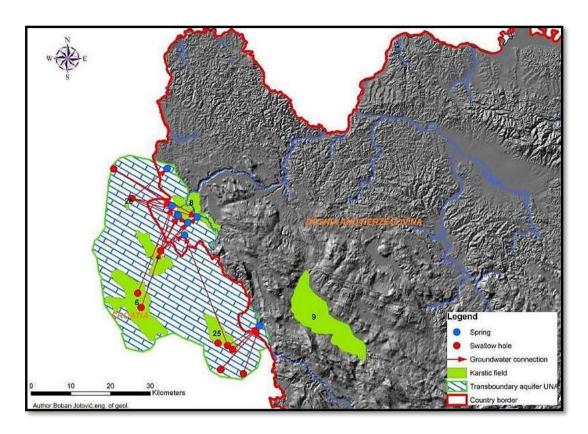


Figura 19 Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Una.

I. b Cetina

Este acuífero transfronterizo se sitúa en el territorio de Bosnia-Herzegovina hacia el sur-sureste del acuífero transfronterizo Una, ya definido. El flujo generalizado de agua es hacia el SO desde territorio bosnio hacia la costa croata. Al igual que en el caso anterior existen tres casos de conexión de agua subterránea (Fig. 20).

El agua situada a una cota mayor percola por los sumideros y aparece en niveles inferiores y así sucesivamente hasta llegar incluso a la cota de Croacia, aunque la mayor parte del agua que entra por los numerosos sumideros kársticos aparece en el rio Cetina. Los contactos entre materiales de diferente permeabilidad favorece la aparición de surgencias.

Las aguas de este acuífero, en el territorio de Bosnia-Herzegovina, se utilizan principalmente para el abastecimiento de la población. Si se tiene en cuenta que la población está muy dispersa en esta zona y que la industria está todavía por desarrollar,

se puede llegar a la conclusión de que sólo se utiliza una parte muy pequeña de los recursos y reservas disponibles.

En Croacia, el agua se utiliza también para el abastecimiento urbano y para la industria, así como para riego. Una parte de las aguas se aprovecha para fines energéticos.

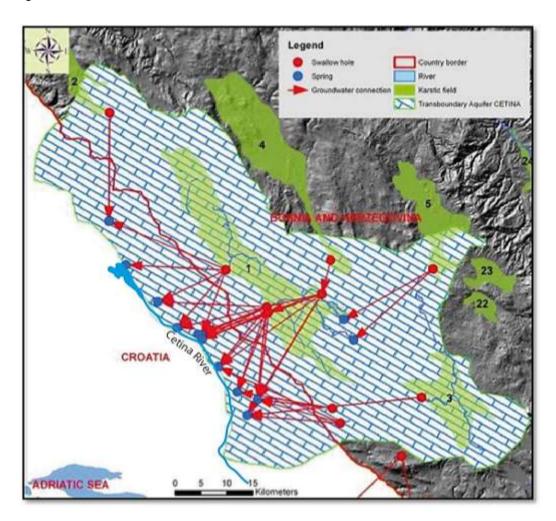


Figura 20 Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Cetina.

I. c Neretva

El inventario INWEB se creó para aunar los esfuerzos mediante el conocimiento y su aplicación práctica hacia los acuíferos transfronterizos del sureste de Europa. En el mismo, se define como "el acuífero de la margen derecha del río Neretva". El acuífero comprende el terreno entre el acuífero transfronterizo Cetina en la parte oeste y el río Neretva, al este (Fig. 21). El flujo de agua subterránea se dirige desde Bosnia-Herzegovina hasta Croacia, al igual que en el acuífero de Cetina.

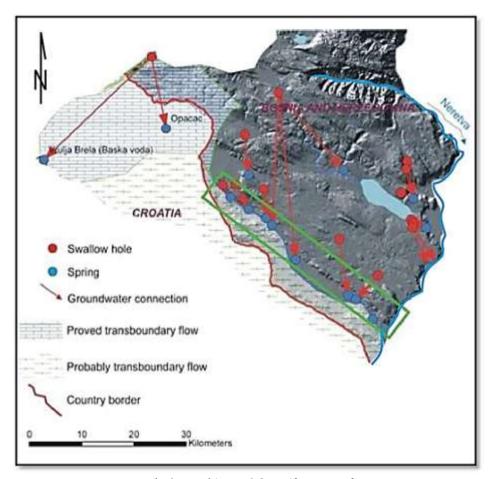


Figura 21 Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo Neretva.

I. d Trebisnjica

Este acuífero abarca (en Bosnia-Herzegovina) la cuenca del río Trebisnjica y una parte pequeña de la margen izquierda de la cuenca del río Neretva. El flujo de las aguas transfronterizas es desde Bosnia-Herzegovina hasta Croacia. Cabe destacar la entrada de aguas por pónors cercanos a Trebinje y que aparecen en el importante manantial de Ombla, en Croacia (Fig. 22), así como en otros de menor importancia. Las velocidades de circulación subterránea varían entre 0,44 y 14 cm/s, más comúnmente en el intervalo 1-5 cm/s.

El agua se utiliza principalmente en la producción de energía eléctrica. Las presas, además de producir energía eléctrica a coste prácticamente cero, también permiten la protección de poblaciones frente a inundaciones. Las aguas subterráneas se utilizan para el abastecimiento de los municipios de Trebinje (mediante el manantial de Oko) y Bileca (manantiales situados por encima del lago Bilecko). Una parte del agua se utiliza para el abastecimiento de agua del municipio de Herzeg Novi (Montenegro) en la zona costera. Otra pequeña parte del agua se utiliza para el regadío en el polje de Popovo (Fig. 23).

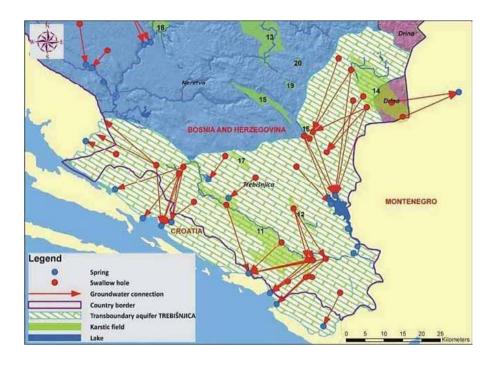


Figura 22 Esquema hidrogeológico del acuífero transfronterizo de Trebisnjica.



Figura 23 Vista del polje de Popovo.

11. Bosnia-Herzegovina y Montenegro

La frontera entre Bosnia-Herzegovina y Montenegro, así como la frontera entre Montenegro y Albania están relacionadas, en este caso, con lagos como el Bilecko y Skadar (Shkodra), respectivamente.

II. a Lago Bilecko

En el inventario INWEB, el sentido de flujo transfronterizo se indicó desde Montenegro hacia Bosnia-Herzegovina, hacia el lago Bilecko (Fig. 24). No existen flujos desde Bosnia-herzegovina hacia Montenegro dentro de este acuífero.

Los flujos transfronterizos de Bosnia-Herzegovina hacia Montenegro dentro de este acuífero no existen.

Una parte de la cuenca del lago Bilecko está situada en el territorio de Montenegro. Las aguas procedentes del territorio de Montenegro fluyen hacia el lago Bilecko a través de los acuíferos kársticos de los relieves de Orjen y Bijela (Fig. 25)



Figura 24 Vista del lago Bilecko desde la presa de Grancarevo.

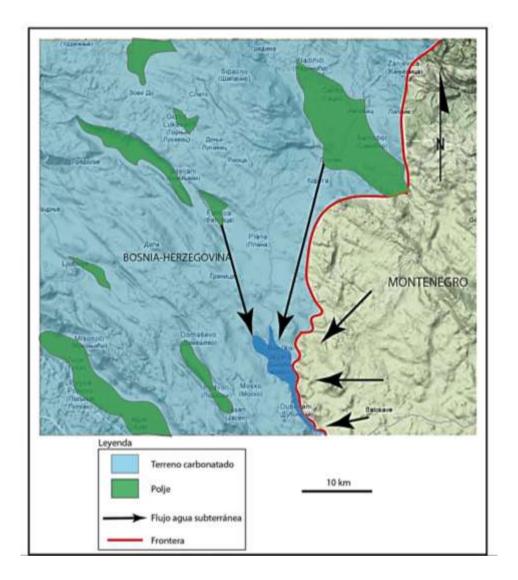


Figura 25 Esquema hidrogeológico del lago Bilecko.

III. Montenegro y Albania

III. a Lago Skadar

El lago Skadar, de origen tectónico-kárstico, se encuentra al suroeste de los Alpes Dinárides (Fig. 26-27). Tiene una superficie de 360 km², de los cuales unas tres quintas partes corresponden a Montenegro, mientras que el resto pertenece a Albania. Durante el período de máximo nivel de agua del lago, el área aumenta hasta los 500 km² (Knezevic, 2009). Posee unas dimensiones de 48 km de largo y 26 km de ancho. La cuenca vertiente al lago, en general, está constituida por roca carbonatada con un carácter claramente kárstico, aunque existan depósitos de gravas y sedimentos. La red

hidrográfica superficial está poco desarrollada y la principal entrada al lago es el río Moraca, al noroeste de Montenegro, aunque hay otras entradas de menor entidad. La salida se produce hacia la parte más suroriental del lago en Albania a través del río Bojana.



Figura 26 Panorámica del lago Skadar desde su borde noroeste.



Figura 27 Vista satélite lago Skadar.

2. PROYECTO DIKTAS. ANÁLISIS.

El Proyecto DIKTAS se plantea como un desafío, sin precedentes en el ámbito internacional, para establecer los principios que puedan permitir una gestión sostenible e integrada en un acuífero kárstico transfronterizo de la magnitud del sistema Dinárico. El acuífero en cuestión requiere del desarrollo de un proyecto de estas características para conseguir una mejora en su gestión, pero sin olvidar el esfuerzo que supondrá el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados en un área, que ha sido testigo de numerosos conflictos bélicos a lo largo de su historia y que sigue presentando problemas fuertemente arraigados y de difícil solución. Este hecho le da un valor adicional al Proyecto DIKTAS y engrandece, aún más si cabe, la necesidad del mismo, no sólo para mejorar el estado ambiental del recurso y distribuirlo de forma más equitativa y sostenible, sino como un intento para mejorar las relaciones, aún tensas, entre los países de la ex-Yugoslavia.

Para llegar a poner en funcionamiento práctico el proyecto ha sido preciso un largo y complicado camino. Ha sido necesario introducirse en el entramado administrativo-político de organismos internacionales, como la ONU o UNESCO, entre otros, para contar con los apoyos y reconocimientos que dotasen al Proyecto DIKTAS tanto de los sólidos cimientos necesarios para abordar un plan de acción de tal magnitud, como para encontrar posibles fórmulas de financiación y cofinanciación.

El Proyecto DIKTAS surge de las siguientes iniciativas: la Declaración de Atenas y el proceso de Petersburgo, en primer lugar, y del taller de trabajo celebrado en Thessaloniki (2004), en segundo lugar. A partir de ellas, el acuífero kárstico Dinárico fue reconocido como sistema acuífero transfronterizo. Posteriormente, expertos internacionales se reunieron en Belgrado, en un taller organizado por la UNESCO en el año 2006, en el que se declaró la importancia de consecución del proyecto y se preparó un esquema para la fase inicial. Un año más tarde, en Eslovenia, se propuso el proyecto entre *Global Enrironmental Facility* (GEF) y la UNDP/UNESCO (Kukuric et al., 2010). En noviembre de 2008, se llevó a cabo en Podgorica, Montenegro, un taller de la fase de preparación inicial. Entre el 12 y el 13 de octubre del 2009, después de una intensa fase de revisión del Proyecto DIKTAS, se celebró una reunión en Venecia, donde se incluyó finalmente dentro de los proyectos del GEF-UNDP. La fase de preparación se completó con el taller de trabajo celebrado en Trebinje en diciembre de 2010.

Una vez definidos y esquematizados los pasos fundamentales que se han seguido hasta llegar a la situación actual del proyecto conviene profundizar algo más para

conseguir, pues, una visión más clara y detallada del proyecto.

2.1 EL PROYECTO DIKTAS. DEFINICIÓN DE SUS BASES

DIKTAS es un proyecto llevado a cabo por los estados en los que se encuentra el sistema acuífero Dinárico, apoyado por el *Global Environment Facility* (GEF). Se presenta como una opción para mejorar el conocimiento de los recursos de agua subterránea en la región de los Dinárides y conseguir, así, un uso sostenible y equitativo, incluyendo la protección del agua contenida en el acuífero y los ecosistemas dependientes (*Project Inception Report* DIKTAS, 2011 y UNDP *Project document*).

Cuatro países, beneficiarios de los Fondos para el Medio Ambiente Mundial, serán los principales colaboradores del proyecto DIKTAS: Albania, Bosnia-Herzegovina, Croacia y Montenegro. Otros países, también situados en los Dinárides y varias organizaciones internacionales también participan en el proyecto, como la Comisión del Karst de la *International Association of Hydrogeologists* (IAH), *Global Water Partnership Meditarranean* (GWP-Med), *French Geological Survey* (BRGM) y *Competence Pool Water* (Austria), entre otros.

El proyecto esta implementado por *United Nations Development Programme* (UNDP) y ejecutado por la UNESCO mediante *International Hydrological Programme* (IHP), un programa intergubernamental de cooperación científica en la investigación sobre el agua, la gestión de los recursos hídricos y la educación. La oficina regional de la UNESCO para la ciencia y la cultura en Europa, situado en Venecia, así como la oficina de la UNESCO en Sarajevo, están apoyando activamente la ejecución del proyecto. El papel de la red internacional de centros de la UNESCO relacionados con el agua es de gran importancia para el proyecto: la UNESCO-OMM, *International Groundwater Resources Assessment Centre* (IGRAC), la presidencia de la UNESCO, *International Network of Water-Environment Centers for the Balkans* (INWEB) e *International Research Center on Karst* (IRCK), Guilin (China), entre otros.

El Proyecto DIKTAS para la protección y el uso sostenible del agua subterránea no tiene precedentes, puesto que pocas veces se ha afrontado el establecer cuáles son los principios que pueden asegurar la sostenibilidad en un acuífero kárstico transfronterizo de las dimensiones del sistema acuífero Dinárico. Uno de los objetivos principales del proyecto DIKTAS consiste en advertir a la comunidad internacional sobre las grandes, pero vulnerables cantidades de agua almacenadas en los acuíferos kársticos de los Alpes Dinárides y sobre la necesidad de profundizar en su conocimiento. Por lo tanto este proyecto ofrece la oportunidad de aplicar nuevos métodos y técnicas de gestión a un medio kárstico poco conocido hasta ahora desde un punto de vista científico.

Otros objetivos que se plantean, de carácter general, son los siguientes: (i) facilitar un uso y gestión equitativo y sostenible del agua y (ii) protegerla frente a actividades humanas potencialmente peligrosas, además del cambio climático, como medio para preservar los ecosistemas dependientes y característicos de la Península Balcánica. Con estos dos objetivos, que tienen como meta contribuir al desarrollo sostenible de la región, se espera lograr un mejor conocimiento científico, un consenso político en torno a las principales reformas y nuevas políticas, la mejora de la coordinación entre países, donantes, proyectos y agencias, y la consolidación del apoyo nacional e internacional.

Se llegará, por tanto, a un mejor conocimiento del acuífero, del recurso almacenado en él y de las posibles causas de su degradación mediante *Transboundary Diagnostic Analysis* (TDA), un mecanismo de consulta entre los países que comparten el acuífero, un acuerdo formal sobre las acciones correctoras incluida la política, las reformas legales e institucionales, y las inversiones, que se adoptará de común acuerdo *Strategic Action Programme* (SAP), y la mejora de la sensibilización y un apoyo internacional sostenido. Los resultados se medirán en términos de la consecución de los principales parámetros.

Para conseguir todos los objetivos mencionados se sugirieron las siguientes fases:

- i. fase preparatoria,
- ii. fase inicial,
- iii. inicio del taller de trabajo,
- iv. plan anual de trabajo.

i. Fase preparatoria

Se propuso un año de fase preparatoria para confeccionar lo que sería el documento completo del Proyecto para la Protección y Uso Sostenible del Karst Dinárico (*Full Sized Project*)

Se organizaron cuatro grupos de trabajo formados por técnicos e investigadores de diferentes nacionalidades que se centraron en:

- la hidrogeología y en el medio ambiente,
- política, legislación y red institucional,
- zonas piloto,
- comunicación y participación de las partes interesadas.

Ocho expertos nacionales, dos de cada uno de los países ejecutores del proyecto, fueron contratados por el proyecto para la preparación de informes sobre la hidrogeología y el medio ambiente, política y el marco jurídico e institucional.

Se convocaron varias reuniones entre los diferentes grupos de trabajo entre los años 2008-2009 en Podgorica (Montenegro), Zagreb (Croacia) o Sarajevo (Bosnia-Herzegovina), entre otros.

Todos los países participantes presentaron por escrito métodos y fórmulas posibles de cofinanciación para el proyecto. Bosnia-Herzegovina se ofreció a acoger la *Project Coordination Unit* (PCU) en la Agencia del Agua de la Cuenca del Río Trebisnjica, en Trebinje (Bosnia-Herzegovina). La oferta fue aceptada por todos los miembros del proyecto.

ii. Fase inicial del proyecto

Comprende desde la aprobación del proyecto por el GEF, el 4 de enero del 2010, hasta la organización del grupo de trabajo de la fase siguiente, en la cual se pudieron ejecutar todas aquellas actividades relacionadas con el proyecto y de vital importancia para el mismo. Se acortó esta fase tanto como fue posible para poder permitir así, el transcurso de todas las demás etapas.

Se alcanzaron diferentes objetivos dentro de esta fase, tales como la delegación de funciones del UNDP, como organismo de implementación, en la agencia ejecutora UNESCO-IHP, el nombramiento del Dr. Neno Kukuric como coordinador del proyecto, el establecimiento de la unidad de coordinación del proyecto (PCU) en la Agencia del Agua en Trebinje. No obstante, la principal actividad ejecutada en la fase inicial fue la preparación de un taller de trabajo.

El Proyecto DIKTAS también se extiende hacia tierras serbias y ello permite que importantes y consolidados especialistas hidrogeólogos, formados en la Universidad de Belgrado, participen en el proyecto, lo cual lo hace muy interesante para el éxito final del mismo.

Del mismo modo se intenta que otros países miembros de la antigua Yugoslavia, tales como la antigua república o ex-república yugoslava de Macedonia, formen parte del proyecto de un modo u otro, permitiendo así una mayor implicación de diferentes países relacionados directa o indirectamente.

iii. Inicio del taller de trabajo

Fue celebrado en Trebinje, desde el 10 al 12 de noviembre, según lo acordado en la anterior fase. El taller de trabajo fue organizado y llevado a cabo según las directrices de UNDP y constó de los siguientes apartados:

• Propósito y expectativas

Se mostró a los participantes de los diferentes países cuáles son las metas y los objetivos, así como finalizar la redacción del primer plan anual de trabajo a partir del *Strategic Results Framework* (SRF). El SRF se presenta como un instrumento de gestión para el primer planteamiento a seguir cuando se abordan proyectos de índole internacional.

El propósito del taller de trabajo fue presentar los miembros del Proyecto DIKTAS al equipo de UNDP/GEF y UNESCO-IHP, los cuales apoyan la implementación, y detallar cuáles son las responsabilidades y funciones de cada uno.

Actividades del taller

A lo largo de dos días y medio de taller se desarrollaron diferentes actividades, que dieron una serie de resultados:

- 1- Se enfatizó la dependencia del agua subterránea para el desarrollo de la zona.
- 2- Se mostraron tres grandes proyectos financiados por el GEF (Fig. 28) además del Proyecto DIKTAS, actualmente en desarrollo en los Dinárides, para plantear la posibilidad de compartir experiencias e indagar posibles formas de colaboración con el Proyecto DIKTAS. El primero de ellos, "Proyecto de gestión en los ríos Neretva y Trebisnjica", se muestra como un esquema de trabajo conjunto entre Bosnia-Herzegovina y Croacia. Los otros proyectos se denominan: "Proyecto de gestión integrada de ecosistemas en el lago Skadar", "Proyecto de gestión de los lagos Ohrid y Prespa" y "Gestión de acuíferos costeros y su relación con el agua subterránea". Todos ellos, al igual que el anterior, pretenden ser proyectos de cooperación entre diferentes países.



Figura 28 Proyectos transfronterizos financiados por el GEF. A. Rio Neretva-río Trebisnjica (Bosnia-Herzegovina-Croacia). B. Lago Skadar (Montenegro-Albania). C. Lago Ohrid-Prespa (Albania-Macedonia-Grecia).

- 3- Se destacó la importancia y necesidad de la colaboración entre países.
- 4- Se presentó una visión general sobre las componentes del proyecto y los resultados. Cuatro importantes componentes fueron puntualizadas:
 - o profundización en el conocimiento del recurso acuífero y de su estado medioambiental,
 - o establecer la cooperación entre los países que comparten el acuífero,
 - o favorecer el proceso de armonización entre las diferentes políticas y reformas,
 - o prestación de una comunicación adecuada entre las partes interesadas promoviendo su participación, la difusión de resultados y su posterior reproducción.

Estos son los objetivos fundamentales del proyecto que permitirán asentar una base sólida sobre la cual se puedan desarrollar todas las fases previstas en el proyecto.

- 5- Se presentó el papel del organismo de implementación UNDP y de la agencia ejecutora UNESCO-IHP
- 6- Se propuso un plan anual de trabajo para el año 2011. Se organizaron cuatro grupos de trabajo en relación con las diferentes temáticas:
 - hidrogeología,
 - medio ambiente y aspectos socioeconómicos,
 - marco jurídico e institucional,
 - participación de los interesados.

Cada grupo tendrá un coordinador. La cooperación entre los grupos se intensificará en el segundo año de ejecución del proyecto (2012).

Para la creación y el mantenimiento de la base de datos del proyecto, y especialmente, a efectos de la armonización de la información de los acuíferos transfronterizos se dispondrá de la PCU como almacén de los datos internacionales, que se vayan obteniendo.

2.2 ASPECTOS HISTÓRICOS

Entre las bases del Proyecto DIKTAS se le presta una atención preferencial a la actividad colaboradora y participativa entre los diferentes estados objeto del mismo, así como de otros países y agencias internacionales de cooperación. Y es que esta fórmula de acción, aplicada con éxito en diversas partes del mundo cada vez con mayor relevancia para la sociedad contemporánea, requiere de un plus de esfuerzo en aquellos territorios que presentan algún tipo de inestabilidad económica, política o social.

Prácticamente toda el área objeto de estudio ha sido testigo de una profunda e intrincada historia bélica, con el choque de varias culturas, que llega hasta nuestros días y que será fundamental para el entendimiento de las claves del proyecto.

Bajo el nombre, ya extinto, de Yugoslavia (Estados Eslavos del Sur) se agrupaba la mayor parte del territorio occidental de la península Balcánica. Con más de 265000 km² y con una población del orden de los 22,5 millones de habitantes, se configuraba como uno de los territorios más importantes e influyentes de la Europa del Este (Bugarski, 1997). La Federación de Yugoslavia se componía de seis repúblicas: Serbia, Eslovenia, Croacia, Bosnia-Herzegovina, Montenegro y Macedonia. Existe una gran variedad de paisajes, climas y recursos naturales que caracterizan los Balcanes, además de grandes diferencias en los modos y niveles de vida. Asimismo, cabe añadir un muy elevado grado de diversidad cultural, étnica, religiosa e idiomática. La heterogeneidad descrita puede ser discretizada y a la vez justificada por la existencia de tres grandes facciones religiosas: católica, ortodoxa y musulmana, todas ellas compartiendo un mismo dominio, con la distinción entre croatas, serbios, musulmanes, macedonios, montenegrinos y eslovenos. Además, existían minorías de nacionalidad similar a las de los países vecinos e instaladas en el territorio yugoslavo como consecuencia de la tormentosa historia bélica desde la "Edad del Hierro". Rumanos, húngaros, italianos o alemanes, entre otros, conforman las minorías instaladas en toda el área balcánica. Las zonas de predominio católico se corresponden principalmente con Croacia y Eslovenia, poseen lenguas diferentes y se atisba un cierto acercamiento de ambos estados en sus zonas costeras hacia la cultura italiana. En la zona sur de la antigua Yugoslavia, en cambio, la religión principal es la ortodoxa; serbios y montenegrinos poseen el mismo idioma que los croatas pero se diferencian de éstos en que el modo de escritura es cirílico y no latino. El islam está representado en la ex Yugoslavia por más de la mitad de la población de Bosnia y por más del 70% de albanos que viven en la provincia autónoma de Kosovo.

Tras el final de la Segunda Guerra Mundial se instaló en Yugoslavia el régimen comunista, a raíz de la victoria aliada de la Unión Soviética. Un nuevo intento por construir lo que se denominó II Yugoslavia fue llevado a cabo por el general Tito. Un régimen inicialmente comunista estalinista, que se vio paulatinamente sustituido por un sistema autogestionario, fueron los protagonistas de las últimas décadas de la historia de los Balcanes. Con la Constitución de 1946, en un intento de esquematizar la realidad

social, se hizo una distinción fundamental entre el término "pueblo" y el término "nacionalidad". Con "pueblo" se quería aludir a las nacionalidades y por lo tanto no entendía de fronteras o bordes territoriales. Eslovenos, croatas, serbios y montenegrinos constituyen "pueblos", que se sitúan en diferentes ámbitos territoriales o naciones ("nacionalidades") (Casanova, 2004). Como se observa, no es de tarea fácil dar una idea de la mezcla existente en los Balcanes. Se añade el hecho de que en un comunismo, tendente a la igualdad entre individuos, se fomentaba esa mezcla social que, por un lado, aportaba gran riqueza e interés al país desde cualquier punto de vista pero, por otro lado, se convirtió en una de las causantes de la desintegración de la Federación Yugoslava.

Yugoslavia poseía una de las economías más fructíferas y prósperas de la Europa del Este y, por lo tanto, se mostraba como firme candidata para ingresar en la Unión Europea. Fue a partir del 25 de junio de 1991 cuando, en un contexto de acercamiento al final del comunismo soviético, Croacia y Eslovenia declararon su independencia de la Federación de Yugoslavia y comenzó así el proceso de desintegración de la misma. Pero Serbia, donde se sitúa Belgrado, el centro y capital de la Federación, no aceptó tal decisión y se desencadenó una guerra que se vio incrementada, con la subsiguiente declaración de independencia de Bosnia-Herzegovina, y que se tradujo en 4 largos y duros años de lucha armada. A finales del año 1995, se firmaron los Acuerdos de Paz de Dayton (París) y se dio por finalizado oficialmente uno de los episodios más negros de la historia contemporánea (AECID, 2005).

A título meramente personal y por lo que se ha podido percibir a lo largo de la estancia en Trebinje, cabría decir que el final de la guerra de los Balcanes no ha representado el final de los problemas que acaecían entre los estados independientes de la zona balcánica occidental. La palabra que mejor describe la situación actual podría ser pausa, de aparente relativa calma, y que debe ser considerada una oportunidad de oro para barajar posibles soluciones y alternativas. Ni que decir tiene que es un problema complejo, difícil de entender, arraigado desde tiempos ancestrales.

Con la caída del comunismo y el derrumbamiento yugoslavo se ha ido produciendo una transición progresiva hacia el capitalismo de cada una de las ex-repúblicas, alimentado en gran medida por la convicción, casi unánime, de que una futura entrada en la Unión Europea, con la incorporación definitiva al escenario internacional, podría ser una de las soluciones más favorables al conflicto balcánico. Se percibe, no obstante, un capitalismo atroz, desmesurado, con gran índice de pobreza y que contrasta con aquellos que supieron sacar ventaja de las privatizaciones y en general de la transición a una economía de mercado. Sin embargo, no es el momento de entrar en discusiones acerca de si el sistema capitalista es o no lo más adecuado para la zona balcánica, sino de reclamar de vital necesidad la ayuda externa, dado que se muestra como complicado y de un éxito incierto que el futuro balcánico pueda ser llevado a cabo de forma independiente por cada una de los estados que lo conforman. Con la entrada en la Unión Europea, se pueden aplicar rígidas normas, con un marco legal y administrativo

que puedan generar un entramado político y económico claro y sin fisuras.

Malekovic et al., (2009), presentó un estudio fehaciente y detallado de esta problemática entre las diferentes áreas de Croacia, que presentan fuertes contrastes económicos. Zonas escasamente desarrolladas, principalmente hacia el sur del país, chocan de manera violenta con aquellas favorecidas económicamente, en las que el turismo, o, en general, las favorables condiciones geográficas han permitido un crecimiento mucho más acusado. A la hora de plantearse un proyecto de gestión de acuíferos no resulta fácil la tarea de superar obstáculos, tales como la inexistencia de un adecuado colectivo experto en proyectos de colaboración, así como la falta de motivación, la necesidad de un sistema legislativo favorable, o la prácticamente nula experiencia colaborativa con países vecinos, entre otras muchas cuestiones. Para concluir, este caso práctico propone el acercamiento a la Unión Europea como medida correctora o solución principal, tanto para obtener un adecuado presupuesto económico como para intentar iniciar o, en este caso, mejorar la gestión actual del recurso.

2.3 EL AGUA Y SU INEVITABLE RELACIÓN CON LA HISTORIA

La situación actual del agua del Karst Dinárico es consecuencia de factores históricos. El comunismo y la posterior guerra civil en la zona balcánica han evitado una gestión sostenible del recurso.

El comunismo del general Tito planteó, como una de sus bases principales, el principio de autogestión. Era un plan común que, entre otras muchas propuestas, planteaba la fabricación por partes, de modo que en cada una de las repúblicas se construía algo y posteriormente se unía para conseguir la pieza final. Este concepto podría ser comparado con el de una cadena, en la que cada eslabón que la compone se estima fundamental, de modo que si alguno fallara se perdería la cohesión entre los mismos. Es por ello que, con la desintegración de Yugoslavia, se acabó con toda la actividad industrial, así como con cualquier gestión compartida posible. Tras la guerra civil yugoslava, el sector del agua sufrió grandes daños. Se estima que, sólo en Bosnia, las pérdidas ascendieron a algo más de 300 millones de dólares americanos, con la necesidad urgente de 950 millones para las tareas de rehabilitación de las redes básicas de suministro de agua. Existía además, una interesante red de control, tanto para obtención de datos climáticos, como para la medición de caudales y niveles piezométricos. La guerra supuso que la mayor parte de esta red de control se encuentre inoperativa en la actualidad.

Milanovic (2010) valoró los problemas políticos y de gestión del recurso acuífero tras la desintegración de Yugoslavia. Prácticamente toda la red hidroeléctrica fue proyectada y desarrollada cuando todavía existía un único estado. Con la delimitación de nuevas

fronteras para cada nuevo estado independiente, esa red dependiente de todos y cada uno de sus elementos quedaba, en muchos casos, fragmentada, dividida y sin posible funcionamiento futuro. Además, en un sistema kárstico tan intrincado como el de los Dinárides, a veces difícil de monitorizar y con numerosas y distantes áreas de recarga, así como también numerosas zonas puntuales de descarga (manantiales) ¿quién tiene los derechos sobre el agua subterránea? A la hora de establecer perímetros de protección, existe una legislación medioambiental generada bajo el criterio propio de cada uno de los países. También es importante señalar que los principios recogidos para definir una zona de protección no son adecuados para los métodos específicos que requiere un acuífero kárstico.

El río Trebisnjica es un ejemplo práctico de lo ocurrido tras la desaparición de Yugoslavia. Durante la estancia, en la localidad de Trebinje, por dónde pasa el río Trebisnjica, se ha ofrecido la posibilidad de entender, gracias a los trabajos de expertos hidrogeólogos locales (como Milanovic) y a los numerosos relatos que cualquiera tiene oportunidad de recibir cuando convive en la propia zona de estudio, qué ocurrió en el caso concreto del lago de Bilecko (Fig. 24). Este lago se sitúa en Bosnia-Herzegovina, muy cercano de la frontera con Montenegro. En la lengua española sería más correcto el término de embalse en lugar de lago, dado que su origen es artificial. Inicialmente, los manantiales del Trebisnjica vertían sus aguas al cauce del río del mismo nombre. Las zonas de recarga se sitúan principalmente en Bosnia-Herzegovina, aunque una pequeña parte se sitúa en Montenegro. La construcción de una de las mayores presas de toda la zona Dináride (Grancarevo), con algo más de 120 metros de altura (Fig. 29), elevó los niveles de agua considerablemente y formó el embalse Bilecko. Los manantiales, que inicialmente vertían sus aguas por encima del río Trebisnjica de forma subaérea, pasaron a estar inundados por el embalse. Por lo tanto, donde previamente había tierras emergidas de Montenegro y Bosnia-Herzegovina pasaron a ser áreas inundadas. El establecimiento de una nueva frontera, tras la guerra balcánica, permitió que una pequeña parte de este embalse perteneciese a Montenegro. Es un ejemplo de la problemática de gestión y de propiedad del agua (Anexo 1).

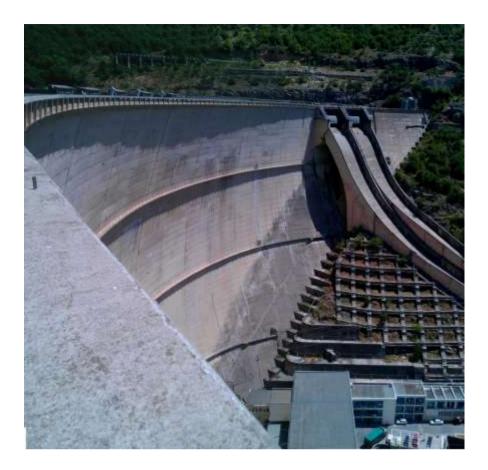


Figura 29 Presa de Grancarevo.

El hecho de que prácticamente todo el territorio Dináride esté formado por rocas carbonatadas fuertemente karstificadas no hace más que empeorar los resultados ante una práctica inexistencia de gestión.

2.4 VULNERABILIDAD Y PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL KARST DINÁRIDE

En general, la gran velocidad de las aguas subterráneas que caracteriza a los acuíferos kársticos es la protagonista de muchas de las ventajas, pero también de los inconvenientes que presentan éstos ante la entrada de contaminantes. En primer lugar, la recarga de los acuíferos es muy rápida y ocurre principalmente a través de zonas puntuales y preferenciales de infiltración como son los sumideros o ponors, los cuales tienen una capacidad de absorción que varía desde los pocos litros a los varios metros cúbicos por segundo. Enormes cantidades de agua subterránea fluyen a través de conductos kársticos de alta permeabilidad, con una velocidad de flujo muy rápida, poco frecuente en el resto de los acuíferos. Por ello, existe muy poco tiempo de retención del agua en contacto con la roca acuífera y el proceso de renovación es muy rápido. En el período húmedo del año se renueva entre el 50 y el 100% del volumen de agua. El

tiempo disponible para la atenuación natural es, pues, muy corto y por tanto, el karst tiene muy poca capacidad para reducir la peligrosidad del contaminante (Ford and Williams, 2007).

En condiciones de aguas altas, los acuíferos están en su mayor parte saturados, el sistema de conductos está en carga y la velocidad de circulación es elevada. Así, el transporte efectivo de los contaminantes es muy rápido, la atenuación es significativa y su concentración en el agua es pequeña.

En cambio, en un periodo de aguas bajas se produce la situación contraria, sólo una parte del acuífero está saturado y los niveles freáticos están muy deprimidos. El caudal se reduce de 10 a 40 veces y algunos manantiales se agotan (DIKTAS WG, 2010) (Anexo 1). Las posibilidades de atenuación son bajas y la concentración de contaminantes potenciales puede ser elevada. La circulación de agua es más lenta y el tiempo que permanecen las aguas subterráneas en el acuífero es mayor. En algunos casos, la circulación queda totalmente interrumpida y los contaminantes pueden permanecer en el acuífero hasta el siguiente período húmedo.

Todo lo dicho indica que la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos kársticos es alta.

En la zona de los Dinárides externos, la cubierta vegetal sobre terrenos kársticos es escasa, excepto en las áreas cubiertas por materiales del Terciario (baja permeabilidad). En el primer caso no hay suelo que pueda actuar como posible atenuante ante un proceso de contaminación (Fig. 30). Por ello la introducción de contaminantes puede tener un efecto casi instantáneo en la calidad de las aguas subterráneas.



Figura 30 Zona costera del Karst Dinárico donde se observa la escasez de suelos (leptosoles) y vegetación sobre la roca caliza (tomado de Mihevo et al., 2010).

Por tanto, es evidente la necesidad de prevenir como medida fundamental para evitar el deterioro de la calidad de las aguas kársticas.

En general, y como se ha visto en los capítulos precedentes, los Dinárides muestran un régimen de precipitación elevado, sobre todo en los cinturones montañosos con máximos de hasta 8000 l/m² (DIKTAS WG, 2010), lo que se traduce en abundantes recursos de agua. No obstante, hay dos aspectos a señalar: en primer lugar, existen períodos secos, que pueden tener una duración variable y, en segundo, los acuíferos tienen escasa capacidad de retención de los sistemas de drenaje kárstico. Esto se traduce en flujos de agua intermitentes y con muy alto rango de variación en los valores de caudales de los manantiales (Biondic et al., 1998).

Es importante indagar en las presiones o actividades que pueden afectar a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas del sistema kárstico Dináride.

Entre las presiones que afectan a la cantidad de las aguas subterráneas cabe destacar (DIKTAS WG, 2010):

- o grandes obras de ingeniería en fase de proyecto,
- o trasvase de aguas entre cuencas hidrográficas,
- o impacto de las obras de ingeniería sobre ecosistemas, demandas de riego en el futuro, etc.,
- o conflicto en la propiedad del agua entre los diferentes países.

En cuanto a la calidad,

- o aguas residuales urbanas sin ningún tipo de tratamiento,
- o fosas sépticas y pozos negros en áreas rurales,
- vertederos no controlados situados, a menudo, en sumideros kársticos o ponors con gran capacidad de absorción,
- o actividades industriales,
- o vertidos superficiales,
- o deforestación: que causa eliminación de suelo que pueda actuar como filtro de contaminación y aumento en la turbidez del agua, entre otros,
- o actividades mineras con la aportación de metales pesados,
- o almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas.

Desde un punto de vista práctico, muchas regiones situadas sobre el Karst Dináride y beneficiadas del agua que almacena, tienen problemas de abastecimiento en los periodos de aguas bajas (verano y principios de otoño). Esto se explica por razones climáticas y por características del propio sistema kárstico, con rápidas respuestas a las precipitaciones y escasa capacidad de retención. Además, el rápido crecimiento de los núcleos urbanos gracias, en parte, a la migración de la población rural, ha favorecido un desarrollo urbanístico desmesurado, así como el aumento de la actividad industrial a lo

largo de las dos últimas décadas. Ha sido notable el aumento en la demanda de agua, con el consecuente aumento de la presión sobre el agua. Cabe añadir otra importante actividad económica, como es el turismo, especialmente importante a lo largo de los últimos años, sobre todo en Albania y Montenegro, y con grandes exigencias en las demandas de agua. Es frecuente la imagen de manantiales con una gran descarga en invierno que prácticamente se agotan en la estación seca (Anexo 1). La imposibilidad a hacer frente a las demandas ha evitado un mayor crecimiento del turismo en estos dos países. No obstante, como medida correctora, se han construido numerosas estaciones de bombeo, ante la imposibilidad de utilizar los manantiales agotados y se han empezado a explotar las reservas de los acuíferos (Stevanovic y Eftimi, 2010).

Un problema relacionado con la cantidad y la calidad es la salinización. Ya se ha demostrado en los capítulos introductorios que gran parte del sistema acuífero Dináride posee una relación directa con el mar Adriático. En 1938, el Profesor Gjurasin de la Universidad de Zagreb, dio las claves necesarias para definir numéricamente el fenómeno de la intrusión marina en este acuífero kárstico (Breznik y Steinman, 2008). A partir de su ecuación, se dedujo que sólo se producía la entrada del agua de mar hacia los conductos kársticos cuando la profundidad de los mismos bajo el nivel del mar superaba en 40 veces la altitud sobre el nivel del mar del manantial kárstico (considerando unos pesos específicos para el agua dulce y salada de 1,000 g/cm³ y 1,025 g/cm³, respectivamente). Prácticamente toda la costa adriática, el sistema kárstico se encuentra contaminado por salinización, sobre todo cuando aumenta la presión sobre el recurso en la estación veraniega, en momentos en los que la descarga de los manantiales es mínima o inexistente y existe una extracción continuada de las reservas. El problema de salinización es aún más importante en las islas croatas, donde prácticamente se obtiene agua salada de los manantiales.

El desarrollo de sistemas de depuración de aguas residuales en el Karst Dináride es muy precario. En la zona costera de Eslovenia (la menos desarrollada del país), sólo la mitad de sus aguas residuales son tratadas en las plantas depuradoras. Otro gran porcentaje no se incluye, ni siquiera, en la red de saneamiento y consisten en pozos negros no siempre con un substrato que evite la filtración y posterior incorporación al flujo subterráneo de los contaminantes (Rabvar, 2006).

Según datos de *Water Quality Management* UNESCO IHE (WQM), en Bosnia-Herzegovina, sólo el 56% de la población está conectada a la red de alcantarillado y tan sólo el 10% posee una adecuada depuración de sus residuos líquidos (UNDP, 2009). Generalmente, se cumple el hecho de que en el centro de las urbes existe un desarrollado sistema de alcantarillado, mientras que en la periferia, son las fosas sépticas o pozos negros los que solventan esta carencia. Las corrientes de agua superficial sobre las zonas kársticas son utilizadas a menudo por muchos municipios como vehículo de transporte de sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento (Fig. 31). No obstante, este escaso desarrollo en infraestructura de depuración ha sido consecuencia de dar mayor preferencia al sistema de abastecimiento que al de aguas residuales, así como a una

fijación de precios del recurso por debajo de sus costes de producción.



Figura 31 Aguas residuales vertidas al río Trebisnjica a su paso por Trebinje.

En el lago Skadar (Montenegro) se ha detectado contaminación por las aguas residuales procedentes de los núcleos más importantes de población (Podgorica, Cetinje y Niksic), hecho que ha favorecido la aparición de procesos de eutrofización. En todas las estaciones de medida se ha detectado un aumento significativo en los valores indicadores de contaminación, sobre todo desde el año 1992 (Knezevic, 2009).

La agricultura en Croacia presenta un gran desarrollo con respecto a los demás países situados sobre el Karst Dináride. La utilización de fertilizantes en las zonas de cultivo, situadas principalmente en las llanuras de inundación de importantes ríos como el Neretva o el Krka (Fig. 13), introduce nitratos en el sistema acuífero. En algunos casos las concentraciones pueden llegar a ser importantes, pero sin superar el límite máximo permitido por la legislación croata de 50 mg/L.

La presencia de vertederos incontrolados es también otra de las actividades contaminantes más frecuentemente encontradas en los Dinárides. En la zona costera de Eslovenia existen vertederos "controlados" según la antigua legislación, pero en la actualidad incumplen tanto con la legislación europea como con la actual del país. Como consecuencia del lixiviado de los residuos, se ha ido produciendo un deterioro progresivo de la calidad de las aguas en algunos sectores y en la actualidad, se han detectado niveles de DQO y de DBO varios órdenes de magnitud superiores a los permitidos. Por otro lado, alrededor de un 8% de las cuevas inventariadas en las bases de datos se encuentran gravemente contaminadas, debido al vertido indiscriminado de

residuos de diversa naturaleza en su interior, los cuales provocan un impacto directo en las aguas subterráneas. Cabe añadir que las formas de absorción del sistema kárstico tales como pónors o dolinas, más deprimidas y situadas en los valles, son los lugares elegidos por la población local para el depósito de residuos. Este hecho es alarmante, puesto que las formas kársticas que presentan una mayor vulnerabilidad a la contaminación son precisamente las formas de absorción, ya que tienen una conexión inmediata con el flujo subterráneo.

En Bosnia-Herzegovina se reconoce la existencia de un alto porcentaje de vertederos ilegales a lo largo de todo su territorio (Fig. 32), pero no se dispone de una adecuada base de datos, que permita aportar cifras numéricas al presente estudio. De manera cualitativa, la misión ha permitido, mediante salidas de reconocimiento de campo, confirmar ese alto porcentaje de vertederos incontrolados, que la UNDP se encarga de advertir, y aunque en la mayor parte de los casos sus reducidas dimensiones no lo convierten en una verdadera amenaza, suponen, no obstante, focos puntuales de contaminación, que en conjunto pueden llegar a ser perjudiciales para el acuífero. En el Anexo 1, se puede apreciar una selección de fotografías tomadas de vertidos potencialmente contaminantes.



Figura 32 Vertedero ilegal con residuos catalogados como peligrosos cerca del pueblo de Gacko con el polje del mismo nombre al fondo de la imagen.

Bosnia-Herzegovina presenta las mayores tasas de contaminación. Debido a su posición estratégica, Bosnia se convirtió en el centro industrial de la antigua Federación yugoslava y, a efectos prácticos, tuvo una consecuencia directa tanto en los ríos, como en los acuíferos. Por aportar algunas cifras, Bosnia-Herzegovina absorbía más de la mitad de la producción de carbón de Yugoslavia, el 70% de la producción de minerales

metálicos, tales como zinc, aluminio, hierro o plomo, así como casi el 50% de la energía eléctrica.

Una parte importante de la industria química de la antigua Yugoslavia se situó también en Bosnia-Herzegovina (Fig. 33). El sistema de autogestión establecía que era el estado el que imponía los precios y no el mercado y, por tanto, evitaba cualquier acercamiento a un desarrollo sostenible. No obstante, a partir de 1992, en plena guerra de los Balcanes y como resultado del comienzo del proceso separatista del resto de países yugoslavos, se produjo una caída inmediata en la producción. A pesar del varapalo económico que supuso esta situación, fue positivo tanto para las aguas subterráneas como para las superficiales, porque se produjo una mejora paulatina en su calidad. Sin embargo, esta tendencia se ha visto de nuevo invertida tras una progresiva recuperación económica con una vuelta a la actividad industrial y la contaminación se sitúa, en general, en valores superiores a los registrados durante el desarrollo yugoslavo. Esta tendencia y relación inversa entre desarrollo industrial y calidad de las aguas es ampliable, sin duda, al resto de ex-repúblicas yugoslavas, pero en menor medida.



Figura 33 Instantánea de industria química en Foca (Bosnia-Herzegovina) sobre el río Drina.

En el lago Skadar se detectan altos niveles de alúmina procedentes la industria de Podgorica (Radulovic, 2011), así como residuos procedentes de la industria agroalimentaria, industrias de procesado de pescado (Rijeka Crnojevica), etc.

Un hecho aplicable a territorios con mayor afluencia de turistas es la fuerte presión que ejerce esa actividad sobre el agua, tanto en su calidad como en su cantidad. Esta estación aumenta en la estación veraniega, cuando el agua es más escasa. Sin embargo, la oferta y servicios ofrecidos al turismo son todavía bajos en la costa de Albania, Montenegro y Eslovenia y, ni que decir tiene, también en el interior. Son terrenos con una potencialidad de uso muy alta y con grandes beneficios para la economía del país en cuestión. Pero no hay que olvidar la evidencia de que existen unos recursos acuíferos determinados y que difícilmente son capaces de satisfacer ese aumento en la demanda de un modo sostenible. Tampoco hay que olvidar la precaria situación de las redes de alcantarillado, dimensionadas para unos volúmenes dados, así como la práctica ausencia de estaciones de depuración, con los efectos negativos sobre la calidad de las aguas.

2.5 POLÍTICA, SOCIEDAD Y ECONOMÍA. VALORACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES

Todas las presiones comentadas hasta ahora sobre el acuífero y el agua subterránea son, sin duda, consecuencia de un problema de base común. No se detecta una preocupación de la población por el problema de la gestión del agua, que es algo prácticamente desconocido. Una vez más, es la situación política por la que atraviesa toda la zona balcánica, la responsable de que no exista un diálogo claro entre el gobierno y la sociedad civil para abordar cuestiones medioambientales o de gestión. Uno de los primeros pasos para conseguir sensibilizar a un colectivo dado, en este caso la población en general, consistiría en suministrar la información necesaria para comprender las claves que permiten explicar la situación actual. Esta información que debe ser lo suficientemente clara y sencilla como para que llegue al mayor número posible de usuarios. Tras conseguir un "estado ideal" de conocimiento por parte de las gentes, se les da a conocer cuáles son los problemas que rodean al recurso agua y de qué manera pueden afectar directamente al usuario. Una vez se acepte el problema como propio podría decirse que se ha conseguido un alto porcentaje de éxito para obtener una adecuada concienciación medioambiental. Ahora bien, para la planificación de este objetivo es fundamental una reforma interna previa en la administración, con el desarrollo de una legislación firme y contundente que en todo momento permita transparencia, así como eficiencia en todas las reformas, proyectos o nuevas normativas en relación con el agua.

Dejando la cuestión política apartada, al menos de momento, es la situación económica la que complica algo más el intento de protección del agua. El crecimiento desigual y desproporcionado por el que ha pasado cada uno de los países del Karst Dináride tras la guerra balcánica ha permitido la convivencia de sistemas obsoletos e ineficientes con otros que funcionan de manera compatible con el medio ambiente y que

intentan adentrarse en la parte de la sociedad más consciente del problema tratado. Pero estos países se encuentran en un momento en el que lo que prima es llegar a satisfacer toda las demanda de agua, así como energética. Siguen planteándose grandes proyectos sin optar por la vía de hacer un uso más eficiente de todas las instalaciones relacionadas con el agua. Electrodomésticos con gastos elevados tanto de energía como de agua, fugas en las redes de abastecimiento, en las redes sanitarias de los hogares, riegos a manta o por aspersión, etc., son imágenes usuales en este territorio.

Según los fundamentos de economía política clásica, los factores de producción pueden clasificarse en tres grandes clases: tierra, trabajo y capital. Por tierra se entiende no sólo el mismo concepto tierra, sino los recursos naturales en general. El trabajo se refiere a la mano de obra, la cual necesita una remuneración de tipo económico, que variará dependiendo del esfuerzo realizado. El capital no sólo se refiere al dinero, sino a los bienes, instalaciones, edificios, etc. Cuando los tres factores comentados poseen un valor igual se puede decir que existe una sostenibilidad ideal. En el momento en que uno de ellos se ve reducido, el usuario del recurso natural lo utilizará sin mesura y de un modo insostenible (Martínez, 2006). Cuando los precios del agua son bajos y no aseguran ni los costes de producción ni los costes derivados de los daños ambientales causados, la eficiencia en su uso es baja. Es fundamental elevar los precios del agua de modo que aseguren la recuperación de costes y se pueda iniciar una inversión de mejora de eficiencia de todo tipo de instalaciones en relación con este recurso.

Existe pues una relación directa entre economía, política y sociedad, las cuales deben de ir unidas de un modo simultáneo. No puede haber un desarrollo político si no existe una sociedad preparada para ese cambio y, a su vez, se necesita de un estado económico favorable que permita poder aplicar esas medidas políticas.

2.6 VALOR AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DINÁRICO

Los Alpes Dináricos han centrado, sobre todo en los últimos años, la atención de la comunidad internacional. Ello es debido al incalculable valor ambiental que poseen, así como a su importancia para satisfacer la demanda de agua de la población.

La geografía, el clima, la geología, incluyendo tanto la litología como su deformación, se enlazan de un modo tal que hacen de los Alpes Dinárides un enclave único, con rasgos muy particulares y difícilmente observables en otras partes del mundo.

La inaccesibilidad de su territorio unido a un pobre desarrollo de carreteras, convierten a los Alpes Dinárides en una de las áreas más inhóspitas e inexploradas de toda Europa.

En el sistema acuífero Dináride se detecta un altísimo número de formas kársticas de interés, tanto desde el punto de vista científico como educativo. Una cobertera vegetal modesta hace posible la observación de la "geología". Pliegues, fallas, estratos caprichosamente moldeados aportan un valor adicional al paisaje de este territorio.

Como consecuencia de ello, existen unas condiciones ideales para el desarrollo de la fauna y flora, adaptados a los factores físicos y fisiográficos de la zona. Especies vegetales endémicas, así como animales, luchan para sobrevivir en unas condiciones que, debido a la acción humana, se hacen paulatinamente más difíciles.

Una de las especies endémicas más emblemáticas del Karst Dináride es el *Proteus anguinus* (salamandra de las cuevas). Se trata de un anfibio de cola, que habita en cuevas, respira con dos pulmones y branquias y posee un peculiar sistema de visión más o menos desarrollado (en ocasiones inexistente), según las condiciones de luz. Es una figura de protección desde el año 1922 (Fig. 34).



Figura 34 *Proteus anguinus* en la cueva de Vjetrenica (Polje de Popovo) (tomada de Mihevc et al., 2010).

El Karst Dináride no sólo merece de protección por el incalculable valor medioambiental comentado, sino porque es uno de los mayores sistemas acuíferos kársticos de Europa y del mundo. Realmente el sistema acuífero sustenta toda la "vida" que se sitúa sobre él y, desde el punto de vista práctico, cubre el abastecimiento de más del 90% de la población balcánica. Por tanto, cualquier cambio en el acuífero implicaría un problema que podría ser catalogable de catastrófico. Sin duda, hay que poner

soluciones definitivas, rápidas y eficaces para evitar la pérdida de este valor único ecológico, geológico y cultural.

2.7 EL PROYECTO DIKTAS Y SUS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

El Proyecto DIKTAS parte de la base del cumplimiento de los alcances y objetivos identificados por la UNESCO - *Internationally Shared Aquifer Resources Management* (ISARM) para todos los sistemas acuíferos que tengan el reconocimiento de transfronterizo (tabla 2).

Tipo de alcance	Objetivos	Grupo a quien va dirigido
Científico. hidrogeológico, técnico, tecnológico	Fomentar el desarrollo político y estratégico en la gestión del agua a nivel nacional y regional	Científicos locales e instituciones investigadoras,
Medio ambiente	Prevenir la contaminación del agua subterránea, la degradación medioambiental y la pérdida de biodiversidad	Científicos del medio ambiente, investigadores, legisladores
Jurídico/Político	Garantizar la aprobación por parte de gobiernos y socios internacionales de cuestiones relacionadas con el Proyecto y minimizar / evitar conflictos (nacionales y regionales)	Los gobiernos, usuarios y los asociados internacionales
Institucional y socio económico	Asegurar la aprobación, la implementación y la sostenibilidad de las medidas	Los legisladores, el público y los asociados internacionales

Tabla 2: Tipo de alcance, objetivos y grupos a los que van dirigidas las acciones según UNDP (tomado de Kukuric et al., 2010).

Kukuric (2010) ofrece una serie de objetivos adaptados a las difíciles condiciones de

los Dinárides:

Profundización en el conocimiento del recurso agua y de su estado medioambiental Los países deberán reconocer el sistema acuífero kárstico como un recurso compartido y altamente vulnerable y tomarán, en consecuencia, las medidas oportunas para protegerlo, siempre partiendo de una idea transfronteriza. Para ello, se elaborará una cadena causal (análisis de diagnóstico transfronterizo - TDA), cuyos eslabones básicos serán los siguientes: los problemas transfronterizos, sus causas identificadas y las opciones de intervención para hacer frente a los problemas nacionales y transfronterizos propuestos. El análisis de la cadena causal facilitará la evaluación del alcance geográfico, la gravedad y las consecuencias ambientales y económicas de las cuestiones identificadas. El TDA dará lugar a la identificación de las intervenciones prioritarias que se necesitarán para abordar las causas subyacentes, con objeto a alcanzar un conocimiento jurídico, político y de reformas institucionales, inversiones, instrumentos económicos, sensibilización y participación de los interesados. El TDA será preparado por los Grupos de Trabajo del proyecto, bajo la dirección de la PCU y con la orientación del Grupo Científico Consultivo, y aprobada finalmente por las comisiones nacionales interministeriales. Se someterá a un proceso de consulta rápida, en su caso, con las principales partes interesadas para incorporar sus puntos de vista y conocimientos, fomentando así la cooperación entre participantes. Finalmente fue redactada y aprobada en inglés y en los cinco idiomas que se hablan en la región (lenguas de Albania, Bosnia, Croacia, Montenegro y Serbia).

Para profundizar en el conocimiento del recurso, se necesitarán los denominados grupos de trabajo, cuyos objetivos serán los siguientes:

a.1.- caracterización hidrogeológica regional del Proyecto DIKTAS. La caracterización hidrogeológica regional llevada a cabo en Albania, Bosnia-Herzegovina, Croacia y Montenegro durante la fase de preparación del proyecto se reunirá finalmente en un único documento. Se incluirá, como mínimo, la armonización de las regiones kársticas en los cuatro países principales. A pesar de ello, es preferible incluir a otros países, como Grecia o Italia, pero dependerá de la disponibilidad de datos y del esfuerzo de armonización necesario para conseguirlo. Esta tarea se llevará a cabo por el Grupo de Trabajo de Hidrogeología que creado a principios de 2011. El grupo necesita ponerse de acuerdo sobre la unificación de criterios (incluidos los principios, la escala, parámetros, etc.). Un borrador de mapa debe ser producido al principio del proceso a la escala de 1:500.000. Será una tarea compleja y las hojas del Mapa Geológico de la antigua Yugoslavia parecen ser el mejor punto de partida. Para la armonización de mapas de Albania y Montenegro se utilizará el mapa geológico e hidrogeológico desde el lado albanés. Se creará inicialmente una base de datos y se utilizarán los Sistemas de Información Geográfica. El principal resultado de la actividad será un mapa hidrogeológico regional, acompañado por una leyenda y un documento que describa el procedimiento de armonización puesto en práctica. La caracterización hidrogeológica analiza los parámetros que definen la calidad/cantidad del agua subterránea. Los resultados se utilizarán como base para diversos mapas temáticos durante la evaluación ambiental y socioeconómica. Los mapas temáticos con el tiempo darán lugar a la creación de un mapa DIKTAS de gestión.

- a.2.- Aspectos medioambientales y evaluación socio-económica de las condiciones naturales, así como del impacto antropogénico mediante la generación de mapas temáticos regionales sobre los que se muestren las focos principales de contaminación, la distribución de la población, ecosistemas, futuras infraestructuras y actividades humanas tales como túneles, embalses, actividades agrícolas, etc. Con ello se limitara el impacto que el hombre y sus actividades puedan llegar a tener sobre el acuífero Dinárico.
- a.3.- Evaluación regional de la red institucional y legal, así como de las políticas existentes. Se basará en estimaciones acerca de las demandas actuales y futuras del recurso acuífero, políticas existentes, administración, usos y gestión.
- a.4.- Síntesis y finalización del análisis de diagnóstico transfronterizo. Con la puesta en común de los resultados obtenidos por cada uno de los grupos de trabajo, se intenta tratar aquellas cuestiones de significación transfronteriza, así como las relacionadas con el Proyecto DIKTAS, adhesión a la Unión Europea, cambio climático, etc.
- b. Identificación de las condiciones de partida y elección y acuerdo de los diferentes indicadores a utilizar para estimar el estado ambiental del recurso

Se establecerá la cooperación efectiva entre los países que comparten el acuífero con el fortalecimiento del conocimiento colectivo y la coordinación entre los planes de desarrollo de los distintos países, proyectos, agencias y financiación.

c. Establecer un organismo consultivo formado por las diferentes nacionalidades

Con ello se facilitará la armonización de las políticas y reformas prioritarias, con un consenso político favorable entre los países objeto del proyecto, así como reformas legales, institucionales y políticas orientadas a la protección y el uso sostenible del sistema acuífero.

- d. Fijar unos objetivos para mejorar la calidad del medio ambiente y el establecimiento de un programa de vigilancia armonizado con su situación actual
 - e. Planificación participativa

Aumentar los niveles de participación por la vía de suministro de información, consulta pública y participación activa. El objetivo final será la sostenibilidad, a largo plazo mediante campañas de concienciación pública y política.

f. Búsqueda de un mecanismo de coordinación e intercambio con otros proyectos e iniciativas, tales como los proyectos GEF mediterráneos

- g. Los países establecerán comités interministeriales centrados en la armonización de los marcos existentes, y en las reformas prioritarias
- h. Un Programa de Acción Estratégico (AEP) orientado al Proyecto DIKTAS y planes nacionales de ejecución, elaboración y adaptación por cada país a nivel ministerial
- i. Análisis de los posibles inversores y procesos de información y comunicación dirigidos al progreso del proyecto
- *j.* Programas específicos dirigidos a una mejora en la capacidad de desarrollar nuevas prácticas, conductas y técnicas

Los programas incluirán cuestiones técnico-políticas y se llevará a cabo fundamentalmente para mejorar el uso y protección de los acuíferos kársticos en los distintos niveles (local, regional, nacional, internacional).

2.8 NOTAS ACLARATORIAS

Aspectos históricos han condicionado, sin duda, la situación actual por la que pasan prácticamente todos los países incluidos dentro del Proyecto DIKTAS. Problemas de tipo social, así como económico y político pero también medioambiental, son los herederos naturales de varias guerras así como de un cambio político-económico. El Provecto DIKTAS, por tanto, se muestra como pionero en la idea colaboradora entre los países que formaban la República Federal de Yugoslavia. Abre entonces, una puerta al sueño, todavía lejano, de conseguir en el Karst Dinárico una gestión sostenible del agua del acuífero, así como de una protección de la fauna y flora que irremediablemente se encuentra interconectada con el mismo. Se trata de un proyecto que atraviesa fronteras, como consta en sus bases fundamentales, en un intento por mejorar las aún tensas relaciones entre los países participantes. Es evidente que con un proyecto, sea cual fuere, difícilmente puede acabarse con problemas arraigados entre las gentes de la sociedad balcánica durante siglos. No obstante, el Proyecto DIKTAS es el primero que supera todas las fases previas, se desarrolla sobre toda la zona acuífera kárstica Dináride y se ejecuta desde un punto de vista práctico. Con su implementación y ejecución posterior se abre el camino a otros futuros proyectos, encaminados todos ellos a adquirir un adecuado conocimiento científico, así como una mejora en la concepción del agua por parte de la sociedad, acompañado del necesario desarrollo político y económico y se permitirá mejorar la protección de una de los grandes valores medioambientales, tanto en el ámbito europeo como internacional, como son los Dinárides.

3. CARTOGRAFÍA

3.1 RESEÑAS HISTÓRICAS SOBRE LA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

Hasta 1940 no se puede hablar de que existía la cartografía hidrogeológica específica y los mapas geológicos eran los encargados de sustituir a ésta, simplemente con interpretaciones cualitativas, acerca del comportamiento de los materiales geológicos en su relación con el agua subterránea (Vrba, 2000). Los primeros mapas hidrogeológicos datan de 1940, cuando empezaron a considerarse como una rama de la cartografía geológica, con su elaboración en varios países y con escalas que variaban ampliamente entre 1:25.000 y 1:200.000, y con algunos 1:500.000 (Grahmann, 1952 - 1957) e incluso menores. Estos mapas tenían por objeto servir de base para la planificación de los recursos necesarios con vista a satisfacer el aumento general de la demanda que estaba aconteciendo, debido al desarrollo de la agricultura, la industria o la oferta pública, especialmente cuando los recursos de agua subterránea se consideraban ilimitados. Además de los aspectos interpretativos relativos al comportamiento hidrogeológico de los materiales, en los mapas se incluía información objetiva puramente hidrogeológica, tal como los niveles piezométricos, inventarios de puntos de agua, direcciones y sentidos de flujo o ciertas características hidrogeoquímicas, entre otras.

La cartografía fue evolucionando en respuesta a los desarrollos teóricos, los cambios tecnológicos y las necesidades de la Sociedad. Además, la información mostrada en los mapas tendía a ser aquella que se consideraba de mayor importancia para el autor, de manera absolutamente subjetiva. Consecuencia de ello fue la aparición de infinidad de mapas con muy diferentes gamas de colores, tramas, simbologías, etc. Comparar mapas, incluso de la misma zona, se convertía en una tarea prácticamente imposible.

Entre 1950 y 1960, los mapas hidrogeológicos fueron incorporando paulatinamente nueva información relativa a la facies hidroquímica y a la calidad del agua subterránea y se introdujeron diagramas, cortes hidrogeológicos, bloques tridimensionales y esquemas, donde se plasmaba información complementaria, relativa tanto a la geometría como al flujo del agua y a sus características físico-químicas. Asimismo, se incorporó una memoria explicativa relativa a los fenómenos representados y a las fuentes de información utilizadas.

Muchas de las ideas de los numerosos expertos del momento en cartografía, fueron presentadas en una exposición celebrada en Helsinki en 1961, durante la Asamblea General de la *International Association of Hydrological Sciences* (IAHS).

Aproximadamente 200 mapas hidrológicos e hidrogeológicos fueron presentados, con una extraordinaria variedad. Entre 1960 y 1961, la *International Association of*

Hydrologeologists (IAH) intentó realizar un estudio sobre las diferentes técnicas utilizadas en la elaboración de estos mapas, mediante cuestionarios a los hidrogeólogos de diferentes países. Las respuestas recibidas fueron reveladoras; además de la amplia variedad de opiniones recogidas, en gran parte debido a un mayor criterio individual que colectivo, se confirmó la dificultad, más que patente, que implicaba plasmar toda la información hidrogeológica en dos dimensiones. Como problema adicional no existían especialistas adecuadamente preparados para la elaboración de mapas hidrogeológicos.

Dos factores se pusieron de manifiesto: la necesidad de coordinación en el ámbito internacional sobre los métodos de presentación de la información hidrogeológica en un mapa y el acuerdo sobre una base cartográfica internacional.

Dos organizaciones internacionales, en concreto IAH y IAHS, se ocuparon de estos problemas. Después de muchos debates, la IAH creó la Comisión de Mapas Hidrogeológicos en 1959, con el primer objetivo de preparar una recomendación acerca de qué símbolos, tramas y colores debían ser utilizados y, en segundo lugar para planificar la producción de una serie mapas a pequeña escala que cubriesen la totalidad de Europa (Karrenberg, 1964; en Struckmeier y Margat, 1995). Un Grupo de Trabajo fue creado en el seno de la Comisión que coordina estos proyectos. Al mismo tiempo, la IAHS estableció en su Comisión de Agua subterránea un Comité Permanente centrado en los mapas hidrogeológicos. Se establecieron contactos con la UNESCO, con *Food and Agriculture Organization* (FAO) y con las partes interesadas de muchas nacionalidades. Como punto de partida, tanto para el Grupo de Trabajo como para el Comité Permanente, se utilizó la leyenda empleada en los mapas hidrogeológicos de Marruecos (Ambroggi y Margat, 1960; en Struckmeier y Margat, 1995).

Una reunión general del Comité IAHS y del Grupo de Trabajo de la IAH se celebró en París en 1962, bajo los auspicios de la UNESCO, asistieron tanto los representantes de esta organización como los de la FAO. Se alcanzó un tratado sobre una leyenda estándar para mapas hidrogeológicos, que fue publicada por la UNESCO al año siguiente (Anon, 1963; en Struckmeier y Margat, 1995). El propósito fundamental de consensuar una leyenda estándar era la de "facilitar la labor de todos aquellos, fueran especialistas o no, que estuvieran preocupados por el recurso agua". Debido a la utilización de criterios meramente teóricos más que los basados en la propia experiencia práctica, la Comisión de la IAH propuso preparar una serie de mapas hidrogeológicos europeos, bajo el nombre de Mapa Hidrogeológico Internacional de Europa.

Una parte de la hoja C5 (Berna) fue seleccionada como prototipo ya que, además de cubrir una región con una muy variada geología, se contaba con una gran cantidad de datos. La escala fue 1:1.500.000. Hidrogeólogos de Austria, Checoslovaquia, República Federal de Alemania, Francia, Italia, Suiza y Yugoslavia participaron en la elaboración de este mapa, desde 1962 a 1964. Con el fin de evaluar las diferentes ideas propuestas al Grupo de Trabajo, muchas de las cuales diferían de las del proyecto inicial de leyenda,

fue necesario imprimir varios tipos de mapas. En total, cuatro modelos adicionales fueron imprimidos, numerados del 1 al 4.

Los modelos 1 y 2 se presentaron en el Congreso Internacional en Nueva Delhi (1964). Ambos modelos eran básicamente mapas geológicos. En el modelo 1 se añadían notas sobre permeabilidades y otros datos hidrogeológicos, mientras que en el modelo 2 se intentaba demostrar los rendimientos de caudal de las diferentes formaciones. Finalmente, ninguno de los dos modelos fue aceptado.

Una tercera versión, el modelo 3, se produjo en 1965. Las formaciones geológicas fueron clasificadas en: acuíferos buenos, moderados y pobres. La litología se ilustró con una trama gris de fondo. Los buenos acuíferos se representaban por el color azul, los moderados por el verde y los pobres por el marrón. Por desgracia, los miembros del Grupo de Trabajo tuvieron grandes dificultades para llegar a un consenso unánime acerca de lo que caracterizaba a un acuífero "bueno", "moderado" o "pobre".

Tras los intentos fallidos en anteriores modelos, el modelo 4 se colocó como firme candidato en 1966, en una reunión general del Grupo de Trabajo de la IAH y el Comité de la IAHS. Esta versión sentó las bases para ilustrar el tipo de acuífero, de modo que mediante una coloración verde, se representaba aquellos acuíferos con flujo preferencial por las porosidades secundarias o fisuras, y mediante el azul cuando el flujo intergranular era el dominante. El marrón fue reservado para las rocas o sedimentos con escaso comportamiento acuífero. Con las tonalidades azul oscuro o verde oscuro se conseguía indicar el mejor comportamiento acuífero posible, con gran capacidad para almacenar agua, mientras que con tonalidades azules y verdes claras se indicaba aquellos acuíferos locales o discontinuos con menor comportamiento acuífero. Del mismo modo, aquellas rocas o sedimentos designados por marrón claro podrían llegar a tener agua pero de forma muy localizada (acuitardos), y mediante el marrón oscuro relacionado con rocas que almacenaban poca o ninguna agua subterránea útil (acuicludos y acuífugos) (Fig. 35). La litología todavía se seguía mostrando por una trama gris de fondo, para ayudar en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico.

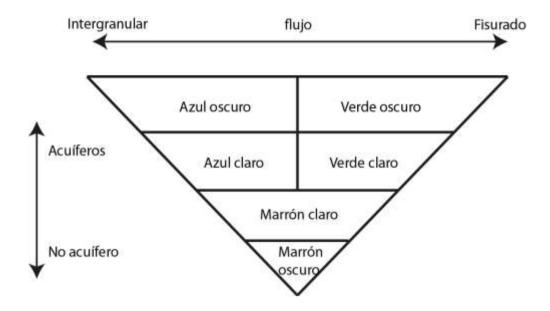


Figura 35 Cuadro sintético de la leyenda estándar (tomado de Struckmeier y Margat, 1995).

Con el Modelo 3 se había partido de un mapa geológico con simples anotaciones y reseñas hidrogeológicas. En cambio, con el modelo 4, se consiguió alejar de ese concepto y se plasmó de una forma clara en dos dimensiones tanto el comportamiento acuífero, como la cantidad de agua almacenada. El modelo 4 fue aceptado como prototipo de la serie prevista del Mapa Internacional Hidrogeológico de Europa, a escala 1:1.500.000. La versión final de la hoja C5 se publicó en 1970 y fue financiada principalmente por la UNESCO y *Bundesanstalt für Bodenforschung*, predecesor del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).

El progreso mediante cuatro versiones del proyecto de la hoja C5 llevó, naturalmente, a las adiciones y modificaciones del borrador de leyenda estándar inicial. Por otra parte, los nuevos símbolos y tramas para las zonas kársticas, para las características de zonas áridas y para otros aspectos hidrogeológicos, fueron examinados por el Grupo de Trabajo de la IAH y el Comité IAHS en las reuniones conjuntas durante 1967. El proyecto revisado fue finalmente publicado en 1970, en el Reino Unido. La publicación fue en color y el texto fue impreso en inglés, francés, español y ruso.

Desde su publicación en 1970, la leyenda ha servido de base para la preparación de muchos mapas hidrogeológicos, tanto dentro como fuera de Europa.

Desde los años 80 hasta la actualidad, se produjo un gran desarrollo en los métodos y técnicas de elaboración de los mapas hidrogeológicos, principalmente en lo relativo a: (a) Técnicas de obtención de datos, mediante la utilización de herramientas de teledetección, con vista a cartografiar unidades litológicas, estructuras tectónicas y geomorfológicas, regadíos, zonas húmedas, etc., a partir del simple tratamiento de una imagen.

- (b) Técnicas de tratamiento de información mediante métodos estadísticos de análisis multivariante y de correlación, modelización matemática, etc.
- (c) Técnicas de gestión de la información, mediante bases de datos digitales de las distintas variables hidrogeológicas, hidrológicas, climáticas, bióticas, antrópicas, etc. en entornos SIG, que permiten no sólo la organización e integración de las distintas fuentes de datos de forma coherente, sino también el tratamiento, análisis, salida gráfica y composición digital del mapa.

A estos avances hay que añadir la continuación, por parte de la comunidad internacional, de la línea de unificación cartográfica de la UNESCO (1983) con la leyenda revisada de mapas hidrogeológicos y posteriormente en 1995, una nueva leyenda estandarizada elaborada por el Grupo de Expertos de la Comisión de Mapas Hidrogeológicos de la IAH.

La tendencia futura en la cartografía hidrogeológica apunta hacia la implantación total del soporte digital en la información y la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, incidiendo especialmente en el desarrollo de métodos de visualización de la tercera dimensión con bloques diagramas o cortes hidrogeológicos, entre otros, y en la consideración de la cuarta dimensión (tiempo). Ni que decir tiene que para llegar a esta situación se requerirán potentes equipos informáticos, que necesitarán ir evolucionando para operar con mayor rapidez y facilidad con la tercera y cuarta dimensión. Sin duda, una cuestión importante será la calidad de la cartografía y muy especialmente de los datos de partida, hacia donde se dirigen todos los esfuerzos, con objeto de establecer redes de control hidrológico e hidrogeológico, que con el transcurso del tiempo aporten una información completa y precisa de los sistemas acuíferos. La utilización generalizada de los SIG permitirá la producción de cartografía "a la carta", a demanda del usuario, a partir de las bases de datos informatizadas, en aquellas áreas con suficiente información hidrogeológica. Esta utilización podrá materializarse mediante redes telemáticas, simultáneamente a la petición de informes. De esta forma se potenciará el uso y venta de la cartografía hidrogeológica digital en detrimento de las series cartográficas hidrogeológicas a escalas grandes (1:50.000) que salvo en zonas de elevado interés hidrogeológico y económico, parecen no tener perspectivas de futuro, al menos en soporte de papel. En cualquier caso, se prevé la vigencia de las series cartográficas a escala media, aunque la información contenida en las mismas se refiera sobre todo a las variables que permanezcan más estables a lo largo del tiempo (topografía, estructuras y formaciones geológicas, etc.), mientras que aquellas variables con mayor rango de variación en el tiempo (niveles piezométricos, caudales, características físico-químicas, etc.) se representarán en sus valores medios o quedarán relegadas a consultas vía SIG.

3.2 FASES DE PREPARACIÓN DE UN MAPA

3.2.1 Generación de cartografía hidrogeológica analógica

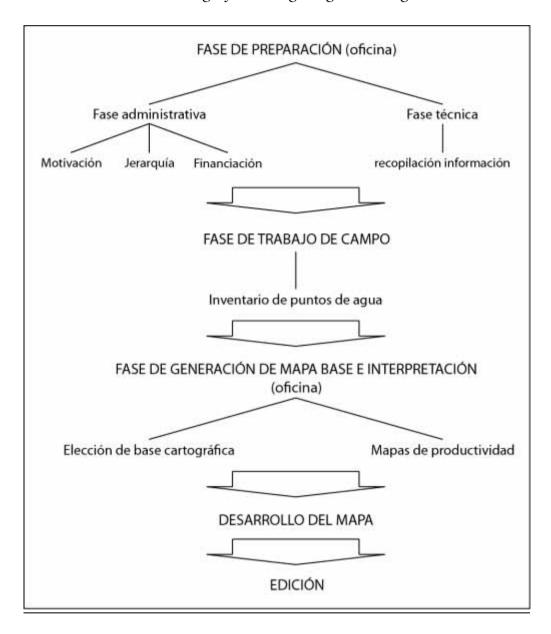


Figura 36 Fases para la elaboración de un mapa hidrogeológico. Modificado de Struckmeier y Margat (1995).

Se pueden diferenciar una serie de fases en la generación de cartografía analógica (Fig. 36):

3.2.1.1 Fase preparatoria (en la oficina)

Esta fase se configura como una de las más importantes y además requiere bastante tiempo y dedicación, pues una buena o mala ejecución influirá sustancialmente en el resto de las etapas siguientes. A lo largo de esta fase se deben sentar las bases necesarias para la configuración del mapa hidrogeológico (Struckmeier y Margat, 1995).

A. Fase administrativa

Será imprescindible crear una motivación suficientemente argumentada del porqué de la generación del mapa. Se designarán los profesionales y científicos necesarios para el proyecto en cuestión. Por otro lado, se debe preparar un diagrama organizativo con cada uno de los participantes, ya sean técnicos, ingenieros u organizaciones interesadas, y donde figuren claramente las funciones que cada uno debe desempeñar, así como su posición jerárquica. En lo que respecta a la organización también es fundamental desarrollar un esquema o plan de trabajo, donde se fije el inicio y el final de cada una de las fases, con una pequeña tolerancia por problemas relacionados con retrasos. Será necesario igualmente buscar posibles vías de financiación o cofinanciación, entendida ésta última como la financiación compartida entre dos o más entidades bancarias o instituciones. Y finalmente, se señalará que *software* va a ser utilizado en el proyecto, como pueden ser los Sistemas de Información Geográfica o el paquete Office, entre otros muchos (*Southern Africa Development Community Hydrogeological Mapping Project*, 2010).

B. Fase técnica

Consistirá en la recopilación de toda información que resulte útil para el objetivo final de generación de un mapa. Esta fase permitirá ahorrar tiempo y dinero de cara a las siguientes etapas.

Dentro de la información que ha sido definida como útil o necesaria, se distingue entre cartografía, bases de datos y fotografía. En primer lugar, se deberá obtener toda la cartografía existente de la zona de estudio, ya sean mapas topográficos, geológicos o hidrogeológicos, de diferentes escalas. Igualmente, se recopilará la información relacionada con fotografía aérea, ortofotografía o imágenes de satélite (imágenes obtenidas por sensores remotos); esta última fuente de información se contemplaría únicamente si es necesaria, ya que su interpretación requiere de especialistas y de un consumo importante de tiempo. También sería necesaria la recopilación de publicaciones en revistas científicas, informes de universidades, tesis doctorales, informes de organismos públicos, empresas, comunicaciones a congresos o cualquier tipo de información relacionada con la zona de estudio, que permitan entender el funcionamiento hidrogeológico de forma más clara.

3.2.1.2 Fase de trabajo de campo

Una vez recopilada la información en la oficina, se debe realizar en el campo un inventario de puntos de agua, entendidos como zonas puntuales donde se tiene acceso directo al agua como: manantiales, pozos, sondeos, excavaciones, ríos, zonas húmedas, embalses, etc. Muchos países cuentan con inventarios de puntos de agua revisados y actualizados, y por ello conviene utilizarlos como punto de partida. No obstante se deben mejorar con nuevas observaciones y anotaciones tomadas en las campañas de reconocimiento.

De todos los puntos de agua citados anteriormente, los *sondeos* son los que ofrecen la información más útil para la generación de mapas hidrogeológicos. Gran cantidad de datos pueden ser obtenidos de los sondeos, tales como el caudal específico, nivel piezométrico y su variación (si se dispone de *data logger*), datos de caudal mediante ensayos de bombeo, aspectos relativos a la productividad, profundidad del sondeo, composición química del agua, así como su variación (si se dispone de *data logger* y en este caso sería muy útil disponer de dispositivos de registro a diferentes profundidades, fundamentalmente en aquellos sondeos cercanos a la costa, para poder definir si existe o no cuña salina así como de su alcance tierra adentro) y midiendo parámetros como: total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, carbonatos, temperatura, etc. Por lo tanto, con el simple estudio de sondeos se pueden generar numerosos mapas temáticos de interés. El problema que existe en muchos lugares del mundo es la escasez de sondeos adecuadamente desarrollados, así como de una inexistencia de una red de control. Será necesario también saber la posición exacta de los sondeos mediante coordenadas geográficas y cota sobre el nivel del mar.

Los *manantiales* indican, en la mayor parte de los casos, la posición del nivel piezométrico y sirven como apreciación inicial para saber si en una zona existen o no problemas de sobreexplotación. Se pueden obtener datos como: caudal, altura de lámina de agua y variación en el tiempo (si se dispone de un equipo de muestreo continuo), composición química (hidrogeoquímica) del agua y temperatura, así como de sus variaciones (si se dispone de un *data logger*), coordenadas geográficas y cota sobre el nivel del mar, entre otros.

Los *ríos*, a diferencia de los dos anteriores, no son unidimensionales, sino bidimensionales (líneas). Al tratarse de líneas se definen por múltiples puntos con sus respectivas coordenadas geográficas y será necesario, acorde con la escala, decidir cuántos puntos se utilizaron y es lo que dará una mayor o menor resolución o fidelidad al trazado real del río. Los ríos siempre han estado en contacto directo asentamientos humanos y por lo tanto no suele existir esa escasez de datos que se ha comentado en los sondeos y en los manantiales. Caudal, altura de lámina de agua y sus variaciones en el tiempo son medidos frecuentemente (si se dispone de estación de aforos con *data logger*), como también lo es, aunque en menor medida, la calidad química, con el análisis de los principales iones presentes en las aguas y la temperatura. Otros datos importantes a estudiar serán: el área de la cuenca hidrográfica, situación geográfica de sumideros u otras formas kársticas a lo largo del río, cascadas, etc.

Los *embalses* y *lagos*, al igual que los ríos, serán vectores obtenidos de mapas previos y, por lo tanto, no se entrará en discusiones sobre qué resolución de borde será la más o menos adecuada. Información útil que se debe estudiar en los embalses, si está disponible, es: altura de lámina de agua y de su variación en el tiempo, para poder definirlo a grandes rasgos como temporal o permanente, composición química (hidrogeoquímica) del agua y temperatura así como de sus variaciones. Se deberá diferenciar entre lago natural, embalse o ciénaga.

Otros dispositivos, no mencionados y de importancia, deberán ser cartografiados y definidos en los mapas hidrogeológicos. Se diferencian entre antrópicas y naturales.

- Dispositivos antrópicos: estaciones de bombeo (coordenadas x-y), tomas de agua a lo largo del río, trazado de tuberías, acueductos y túneles, canalizaciones, presas, zonas de recarga, desalinizadoras, etc.
- Dispositivos naturales (geológicos): pequeñas lagunas, litología, información estructural como fallas, pliegues, canales de erosión, diapiros salinos, conos volcánicos, etc.

Si se estima necesario, se podrían proponer áreas de estudio en zonas de recarga o descarga que hagan posible llegar a un conocimiento más profundo de la hidra(geo)logía en aquellas zonas en las que no exista información o se tenga un mayor desconocimiento.

3.2.1.3 Fase de generación del mapa base e interpretación

Dependiendo de la escala del mapa final que se quiera conseguir se necesitará un tipo de cartografía base u otra: mapas topográficos, geológicos, meteorológicos, hidrológicos, imágenes de satélite o fotografía aérea.

i. El mapa topográfico será, sin duda, la base fundamental para cualquier tipo de escala que se plantee, y en él aparecerán ríos, carreteras, núcleos de población, curvas de nivel, etc. Servirá para tener una primera idea acerca de la hidrología superficial de la zona. Si no existe en soporte digital, se deberá capturar la imagen original mediante digitalización o escaneo. Es necesario indicar que, tanto la digitalización como el escaneo, tendrán que partir de un mapa topográfico ya editado, de la zona de estudio (a día de hoy prácticamente todo el territorio mundial se encuentra cartografiado con respecto a la topografía). Si se opta por la primera opción de digitalizar la imagen, se aconseja la utilización de ArcGIS con su extensión ArcScan, que es capaz de vectorizar una imagen en formato raster, mediante múltiples funciones y variables reguladas por el usuario. Una vez generada la nueva capa, se dispondrá de una base de datos completa donde cada línea presente en el mapa estará definida por unas coordenadas geográficas determinadas. Si se elige el escaneo, se deberá utilizar una resolución de al menos 300

dpi, en blanco y negro o con una escala de grises y en formato ".tif". Si el mapa topográfico está en color, se escaneará en color de 24 bits en formato ".tif". Posteriormente, será necesario georreferenciar la imagen escaneada para adaptarla a una escala dada y para situarla en un espacio X-Y conocido. Para ello, se necesitará de algún punto con coordenadas conocidas y reales y de otro punto adicional, como mínimo, para ajustarlo a una escala dada.

Para cualquier escala de mapa hidrogeológico, será necesario también contar con un mapa geológico base. La escala del mismo tendrá que coincidir con la escala del mapa hidrogeológico final. Como primer paso se tendrá que simplificar la gran cantidad de información presente en un mapa geológico para convertirlo en un mapa hidrolitologico de base. Si se asigna un código a cada grupo litológico se puede, mediante hojas de cálculo, confeccionar una base de datos. La siguiente transformación necesaria será convertir las unidades lito-estratigráficas en hidro-estratigráficas, mediante la actuación conjunta de geólogos e hidrogeólogos. Así, se podrá clasificar cada grupo litológico en función de su comportamiento acuífero, y distinguir entre materiales consolidados o no consolidados, permeables o no permeables, fisurados, porosos o kársticos, etc. (Southern Africa Development Community Hydrogeological Mapping Project, 2010).

En algunos casos se deberá incluir *información estructural* cuando en el área de estudio existan fallas, diques o cualquier tipo de anomalía en el terreno que, por el gran contrate litológico (K, n, etc.) con los materiales que le rodean, se convierta en una zona favorable a la presencia de agua.

Los *mapas de recarga/precipitación*, son de gran importancia a la hora de abordar cualquier mapa hidrogeológico. Los mapas de recarga, no obstante, son escasos debido a la dificultad de obtener el parámetro recarga, de modo que en ausencia del mismo, se suelen utilizar mapas de precipitación y se hacen balances.

ii. Una vez elegida la base cartográfica adecuada, dependiendo de la escala de mapa hidrogeológico que se quiera obtener, se corregirán e introducirán todos los datos puntuales obtenidos en el campo. Es normal que los datos obtenidos, principalmente de sondeos, se muestren con unidades muy diferentes, con errores y lagunas de información por fallos en los sistemas de registro o por errores de transcripción. Por ello, es necesario proponer un formato estándar, así como de un procedimiento de procesado eficiente, que requiera poco tiempo de ejecución. Mediante el formato estándar se unifican las unidades que se utilizarán para confeccionar la base de datos, que se introducirá posteriormente en los Sistemas de Información Geográfica: coordenadas, altitud, fecha, profundidad del sondeo, nivel piezométrico y la fecha en que fue medido, caudal, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, nitratos y otros parámetros.

iii. Desarrollo del mapa de productividad de agua subterránea

a-Régimen de flujo subterráneo

El primer paso será dividir los tipos litológicos en tipos hidro-litológicos permeables y no permeables, mediante consideraciones de flujo de agua subterránea y otras observaciones. Entre formaciones permeables y no permeables se puede diferenciar un amplio abanico de comportamientos intermedios con diferentes permeabilidades.

b-Productividad del acuífero

La productividad de un acuífero, entendida como el rendimiento que puede ofrecer un acuífero con respecto a una posible captación, es función directa de la permeabilidad (K) y del espesor saturado. Y, por tanto, se convierte en una variable fundamental, dado que puede existir formaciones muy permeables, pero con poco espesor y entonces carecería de sentido señalarlas en un mapa hidrogeológico como acuífero propiamente dicho. La productividad se puede estimar mediante varios procedimientos, que conviene utilizarlos conjuntamente para obtener mayor calidad en los resultados. Con ensayos de bombeo se pueden obtener las diferentes constantes que caracterizan a un acuífero, como la permeabilidad o el caudal específico. Mediante mapas de recarga se puede asignar también una productividad aproximada en el acuífero (Southern Africa Development Community Hydrogeological Mapping Project, 2010). Se pueden utilizar ambas fuentes de información e integrarlas en un modelo y los resultados pueden ser muy óptimos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los tipos de acuíferos se pueden agrupar de acuerdo con su productividad (Tabla 3-4), según la IAH, en:

- productividad alta,
- productividad moderada,
- productividad generalmente baja,
- productividad baja.

Categoría de acuífero	Caudal específico (l/s/m)	Transmisividad (m²/d)		Caudal esperado aproximado (l/s)	
A, B, C	>1	>75	>3	>10	Alta

A, B, C	0.1-1	5-75	0.2-3	0-1	Moderada
D1	0.001-0.01	0.05-5	0.002-0.2	0.01-1	Generalmente baja
D2	<0.001	<0.05	<0.002	<0.01	Ваја

Tabla 3 Parámetros orientativos para determinar la productividad de un acuífero (tomado de Struckmeier y Margat, 1995). A: Acuífero poroso, B: Acuífero fisurado, C: Acuífero kárstico y D: Formaciones de baja permeabilidad.

Productividad Tipo acuifero	Alta	Moderada	Generalmente baja	Baja
Acuifero poroso			X	X
Acuifero fisurado			Х	X
Acuifero karstico			Х	Х
Formaciones de baja permeabilidad	X	Х		

Tabla 4 Coloración utilizada según el tipo de acuífero y su productividad.

3.2.1.4 Desarrollo del mapa

Una vez que se ha trabajado con los Sistemas de Información Geográfica y se han corregido los datos, se puede decir que el mapa está prácticamente finalizado. Ahora faltaría incluir la información adicional que va a acompañar al mapa. A lo largo de la fase de desarrollo se añadirán secciones y cortes hidrogeológicos, notas aclaratorias, columnas hidrológicas e hidroestratigráficas, leyenda, etc.

Con ello se preparara un informe donde figure toda la información más relevante y donde se aclare cualquier aspecto presente en el documento cartográfico debido a que como ya se ha explicado, un mapa hidrogeológico debe de facilitar la labor de los potenciales usuarios.

3.2.1.5 **Edición**

Los SIG permiten editar la cartografía final mediante gran variedad de herramientas y opciones de publicación que permiten la exportación e impresión tanto en un sitio web como para la distribución en copia impresa. Entre las opciones podemos destacar las siguientes:

- exportación a formato gráfico de intercambio estándar,
- plantillas de mapas para automatización de productos en serie,
- procesamientos de mapas complejos para impresiones en formato a gran escala,
- mapas digitales para distribución y visualización.

Todo mapa debe contener los siguientes aspectos:

- ✓ leyenda,
- ✓ coordenadas,
- ✓ escala tanto numérica como gráfica,
- ✓ proyección y datum geodésico espacial,
- ✓ autores,
- ✓ fecha y lugar de impresión,
- ✓ apartado donde colocar otros datos interesantes, como la precisión del mapa, las fuentes utilizadas, etc.

Esto sería el proceso de generación de cartografía hidrogeológica si se partiera de cero. Sin embargo, si se dispone de mapas previos, ya editados, los pasos a seguir serán ligeramente diferentes, aunque se aplicarán las numerosas técnicas descritas anteriormente.

3.2.2 Generación de cartografía hidrogeológica digital

Para el Proyecto DIKTAS y más concretamente para el Grupo de Trabajo centrado en la hidrogeología y medio-ambiente, la generación del mapa hidrogeológico digital del área ocupada por el Karst Dinárico se plantea como objetivo inicial en la producción de cartografía temática en las fases siguientes.

Se han seguido los siguientes pasos en la elaboración de la cartografía:

3.2.2.1 Recopilación de información

Los técnicos participantes en el Proyecto DIKTAS aportaron gran cantidad de información de cada uno de los países participantes, y por lo tanto, no ha sido necesaria la fase de preparación o la de trabajo de campo con el inventario de puntos de agua. No obstante, durante la estancia realizada en el Karst Dinárico con motivo de este trabajo de fin de máster se ha tenido oportunidad de hacer numerosas salidas de campo, para obtener un conocimiento más profundo de la hidrogeología de la zona. En el Anexo 1 se puede apreciar una gama de fotografías tomadas a lo largo del presente trabajo de fin de Máster, que dan una idea de las numerosas campañas de trabajo de campo realizadas.

Se han recibido datos digitalizados y georreferenciados de los mapas topográficos de Albania, Bosnia-Herzegovina y Croacia:

- carreteras,
- líneas ferroviarias,
- ríos,
- lagos,
- núcleos de población,
- fronteras.

Montenegro aportó un mapa escaneado.

3.2.2.2 Preparación de datos Montenegro

Al disponer sólo de datos escaneados de Montenegro, se hizo necesario un tratamiento previo para poderlo incluir con los datos de los demás países.

El procedimiento que se siguió, partió de *shapefiles*. Las *shapefiles* son un formato antiguo de SIG, que no permite establecer relaciones entre las componentes del mapa (ríos, carreteras, etc.), pero simplifica, de manera notable, el proceso.

El primer paso es crear una *shapefile* por cada dato tipológico mediante ArcCatalog (Fig. 37). Se creó una carpeta llamada "Montenegro", donde se incluyeron polígonos y poli-líneas. Como polígonos se incluyeron: *boundaries, lakes_mont y towns_mont*; como poli-líneas: *railway_mont, rivers_mont y roads_mont*. A cada uno de ellos se le asignó

una tabla con diferentes campos: ID, nombre, longitud, tipo, etc.

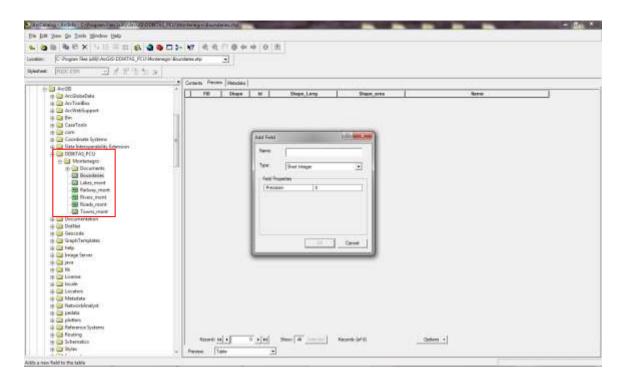


Figura 37 Captura de imagen con las shapefiles creadas para Montenegro.

El siguiente paso es seleccionar un sistema de coordenadas para situar la futura digitalización en un espacio concreto. Se utilizó la UTM como proyección y la Gaus Kriger como sistema de coordenadas geográfico (Fig. 38). Con el ArcCatalog se le asignó a cada *shapefile* el sistema de coordenadas elegido.

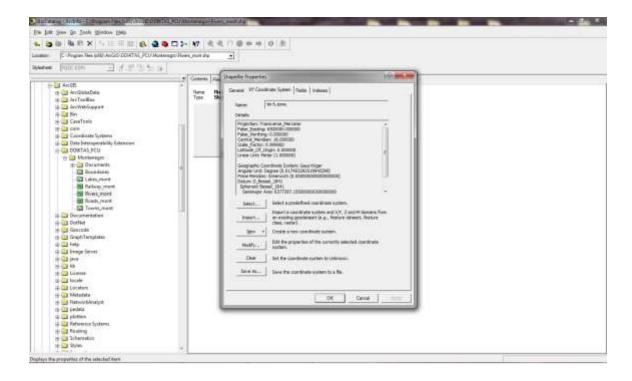


Figura 38 Captura de imagen donde se observan las propiedades de la shapefile *rivers_mont* y la selección del sistema de coordenadas Gaus Kriger.

Después de los dos pasos previos, se pudo comenzar con la vectorización del mapa de Montenegro. Mediante ArcMap se empezó con el tratamiento de la imagen (en formato raster). ArcMap posee una herramienta de vectorización automática (ArcScan) que, en algunos casos, ofrece buenos resultados. No obstante, se desaconsejó (en la primera reunión del Grupo de Trabajo de hidrogeología) utilizar esta herramienta. Se optó por el modo manual, y se editó y creó una *new feature class* por cada elemento (río, lago, etc.) Se obtuvieron buenos resultados, de gran calidad y detalle, los cuales pueden observarse en la siguiente secuencia de capturas de imagen 39, 40, 41 y 42.

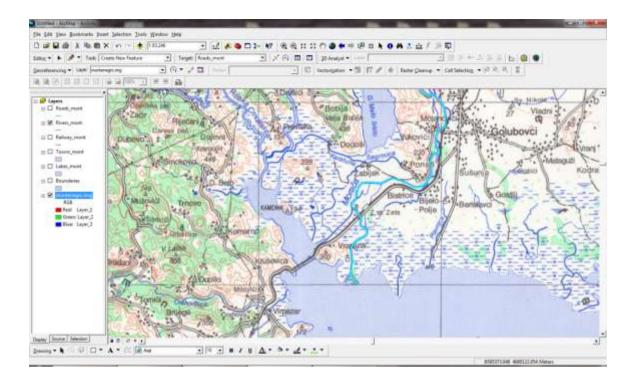


Figura 39 Captura de imagen donde se aprecia la vectorización de la cartografía en el sector del río Moraca.

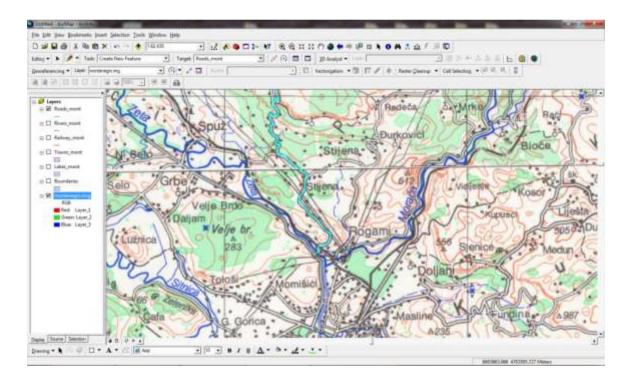


Figura 40 Captura de imagen con la vectorización de una carretera.

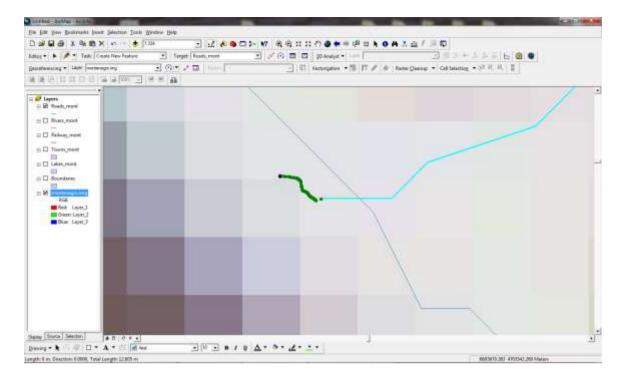


Figura 41 Captura de imagen donde se aprecia la vectorización de una carretera con gran detalle.

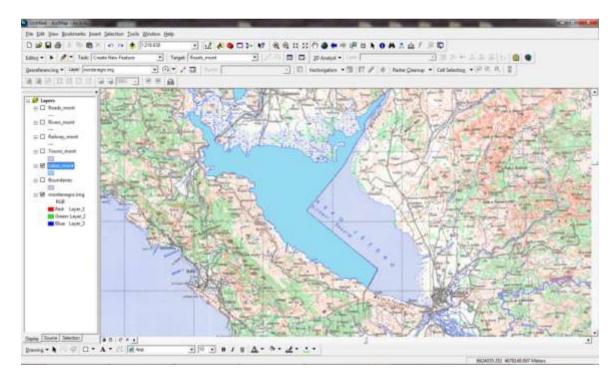


Figura 42 Captura de imagen con la vectorización del lago Skadar, donde se aprecia la frontera entre Montenegro y Albania.

3.2.2.3 Generación de la base de datos

Para la generación de la base de datos, en este caso, se contará con el mapa topográfico y el mapa hidrogeológico, que se tratarán a continuación. Antes fue preciso elegir un adecuado formato ArcGIS para permitir adecuar la base de datos a las necesidades perseguidas. Entre los formatos, se pueden distinguir: coverage, geodatabase o shapefiles. Se optó por la geodatabase, que permitía establecer relaciones entre variables, múltiples feature class, etc. En la figura 43 se puede observar el árbol de la geodatabase (DIKTAS.mdb), que se utilizará como punto de partida para ir introduciendo toda la información y datos disponibles de la zona de estudio. En una geodatabase se pueden tener múltiples feature dataset, donde se incluyen las feature class. Cada feature class puede ser: un polígono, una línea o un punto. En esta primera fase del Proyecto DIKTAS, la labor fundamental desarrollada durante la estancia en Trebinje ha sido completar las feature dataset: comenzar por tres primeras Hidrogeological map 500000, Hydrology map y base map.



Figura 43 Árbol de *geodatabase* con sus repectivas *feature dataset*, que a su vez incluyen las *feature class*.

Mapa base (BASE MAP)

Tras la fase 2 de preparación de datos de Montenegro, se obtuvo el mapa digital

siguiente (Fig. 44):

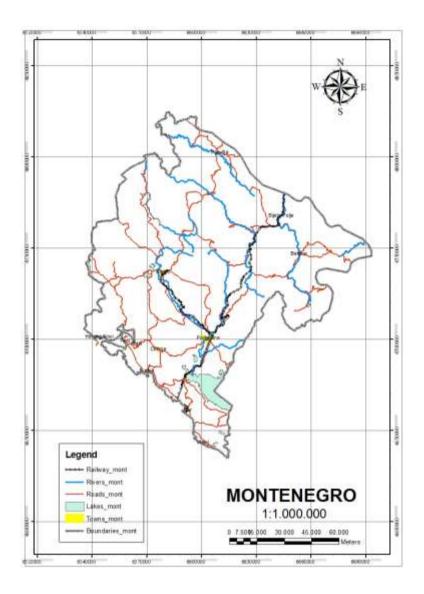


Figura 44 Mapa digital de Montenegro.

Los datos digitalizados obtenidos de Montenegro se comenzaron a incluir en la *geodatabase* DIKTAS.mdb, tal como se indica a continuación (Fig. 43):

Point feature class.- main settlements (MAIN_SET). Se introdujeron las ciudades (towns_mont).

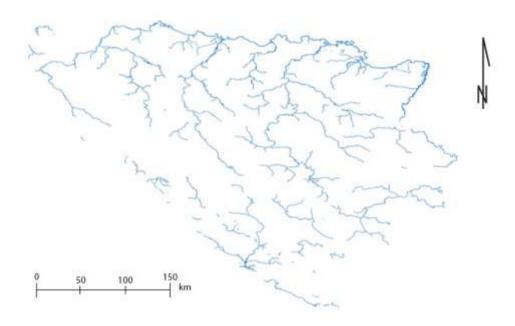
Line feature class.- state boundaries (ST_BOUND). Se introdujeron las fronteras (boundaries $_mont$).

Line feature class.- main roads (M_ROADS). Se introdujeron las carreteras (*roads_mont*).

En lo que respecta a los demás países (Croacia, Bosnia-Herzegovina y Albania), los datos ya digitalizados, no se añadieron a la *geodatabase*, porque los expertos del proyecto decidieron posponer este paso hasta el de calibración. Estos datos se digitalizaron con diferentes procedimientos, y al unificarlos podrían mostrar errores de posición y como consecuencia de ello se hacía indispensable una calibración. No obstante, a continuación se expone una serie de imágenes donde se muestran los datos aportados en formato gráfico y tomando como ejemplo en Bosnia-Herzegovina (Fig. 45, 46, 47, 48 y 49).



Figura 45 Cuencas hidrográficas de Bosnia-Herzegovina.





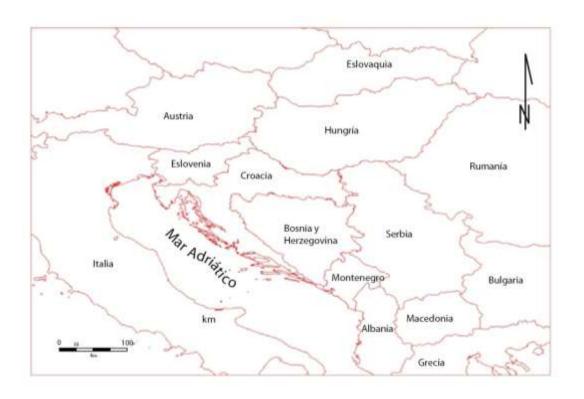


Figura 47 Fronteras entre países.



Figura 48 Mapa de carreteras de Bosnia-Herzegovina.

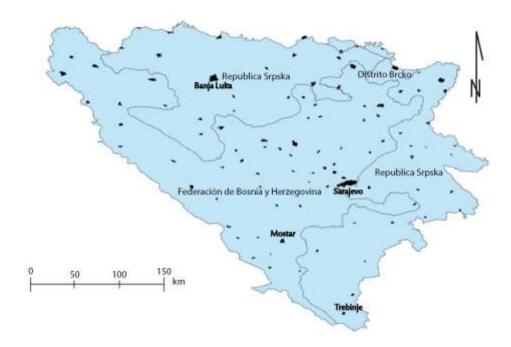


Figura 49 Núcleos de población de Bosnia-Herzegovina.

Mapa hidrogeológico escala 1:500.000 (HIDROGEOLOGICAL_MAP_500000)

Se cuenta con un mapa hidrogeológico de la antigua Federación yugoslava formado por las siguientes 6 hojas a escala 1:500.000: Zagreb (1/6), Novi Sad (2/6), Sarajevo (3/6), Belgrado (4/6), Dubrovnik (5/6) y Skopje (6/6).

La idea inicial es la de vectorizar cada una de las hojas del mapa, depurar errores que se puedan encontrar en el mismo, así como añadir datos hidrogeológicos actualizados.

Para conseguir incluirlo en la *geodatabase* DIKTAS.mdb se han desarrollado diferentes fases:

a- Preparación de las hojas escaneadas del mapa hidrogeológico

Se disponía de las seis hojas escaneadas independientemente. Se utilizó *Photoshop* para recortar cada una de las hojas y eliminar los detalles de edición, como los bordes o la latitud/longitud (Fig. 50).

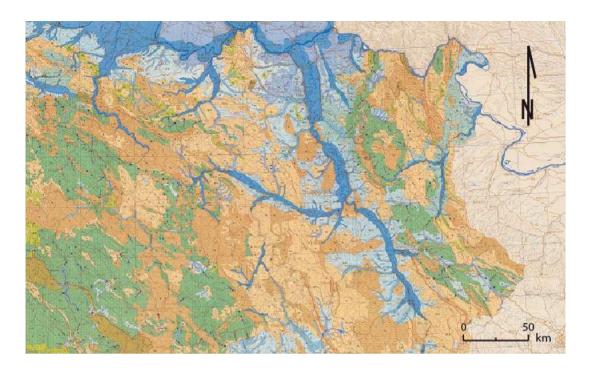


Figura 50 Hoja de Belgrado después de recortarla, sin bordes ni latitud/longitud.

b- Elección de un sistema de coordenadas geográfico.

Se ha optado por el ETRS 1989 Europa. Son las siglas en inglés del *European Terrestrial Reference System* 1989 y es el datum geodésico espacial para adquisición, almacenamiento y análisis de datos georeferenciados en la placa continental europea. Está basado en el elipsoide SGR80 y es la base para el Sistema de Referencia Coordenado utilizando coordenadas elipsoidales (Instituto Geográfico Nacional de España).

Una vez elegida el ETRS 1989, como sistema de coordenadas geográfico, se pudo empezar con la asignación del mismo a cada una de las hojas. Para ello se utilizó ArcCatalog y, a cada hoja, se le fue asignando de forma independiente el sistema de coordenadas (Fig. 51).

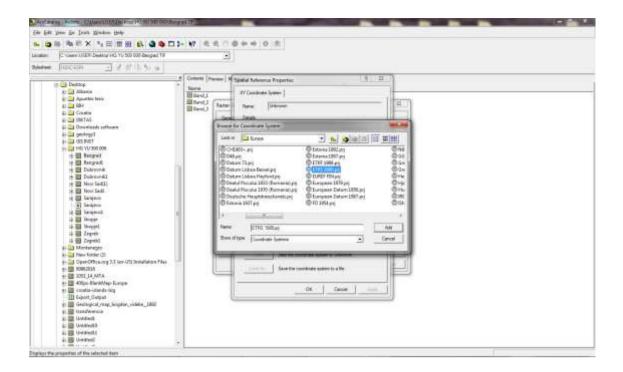


Figura 51 Captura de imagen donde se observa la asignación del sistema de coordenadas ETRS 1989 Europe para la hoja de Belgrado.

C- Georreferenciación

Una a una, cada hoja fue incluida en ArcMap y se fue georreferenciando. El procedimiento constó de una serie de pasos. Inicialmente se georreferenció cada punto de cuadrícula definido por una longitud y una latitud. En el mapa hidrogeológico de la antigua Yugoslavia se representaron los meridianos cada 30 minutos y los paralelos cada 20 minutos, los cuales se intersectaban dando lugar a 70 puntos por hoja, aproximadamente. Para la georreferenciación se realiza una transformación en el raster basándose en los puntos de control de origen y de destino utilizando una transformación polinómica. Existen diferentes transformaciones: de polinomio de primer orden, segundo orden o tercer orden. En este caso, se optó por la transformación polinómica de tercer orden, que fija una superficie final más complicada, pero de mayor precisión. El resultado final tras la georreferenciación de todas las hojas fue el siguiente (Fig. 52):



Figura 52 Mapa georrefenciado de la antigua Federación de Yugoslavia (ERTS 1989 Europa).

d- Calibración

Para calibrar la georreferenciación realizada se introdujeron los datos aportados por los países participantes del proyecto, para calibrarlos con la georreferenciación previa del mapa hidrogeológico de la antigua Federación de Yugoslavia. Como se aprecia en la figura 53, existe un error máximo de 1 kilómetro entre el límite geográfico del mapa hidrogeológico georreferenciado de Croacia con el límite geográfico del mapa base. El error varía desde 0 a 3 kilómetros y aumenta desde el centro del mapa hacia los bordes. En la figura 54 existe un error, que es menos evidente, pero que es fundamental, puesto que los ríos, al igual que lagos, pozos o sondeos, deben de estar perfectamente situados y con el menor error posible en un mapa hidrogeológico.



Figura 53 Calibración de la frontera croata del mapa hidrogeológico de la antigua Federación de Yugoslavia con la *shapefile* aportada por Croacia.

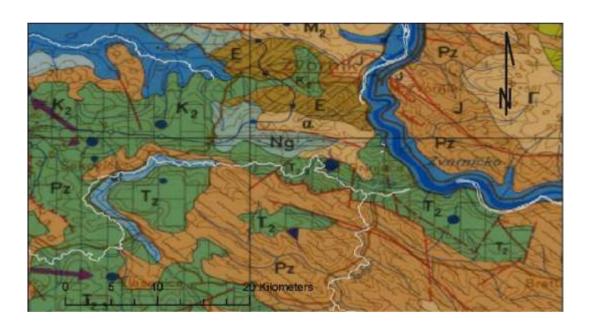


Figura 54 Calibración de ríos (azul) del mapa hidrogeológico de la antigua Federación de Yugoslavia con las *shapefiles* (blanco) aportadas por Bosnia-Herzegovina.

La calibración se consideró como buena debido a la gran escala utilizada (1:500.000), que hacía prácticamente despreciable el error comentado. El principal problema en la calibración se debió al uso de diferentes sistemas de coordenadas para la vectorización de los datos de cada uno de los países (*shapefiles*) y proyectarlas en un único mapa.

Por lo tanto, se ignoraron los datos aportados y se empezó una nueva digitalización partiendo del mapa hidrogeológico de la antigua Yugoslavia y utilizando el ETRS 1989

Europa como sistema de coordenadas geográfico. El método que se utilizó para la calibración consistió básicamente en vectorizar a mano los ríos, unidades hidrogeológicas, principales fallas y otras características geológicas, núcleos de población, etc. (Fig. 55, 56a y 56b).

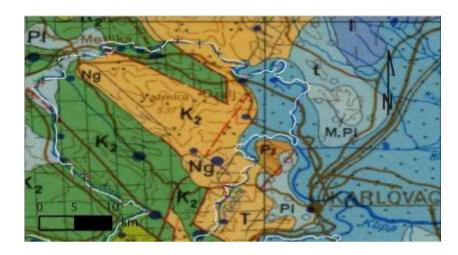


Figura 55 Detalle de la georreferenciación de los ríos Kupa y Dobra con las cruces rojas y azules.

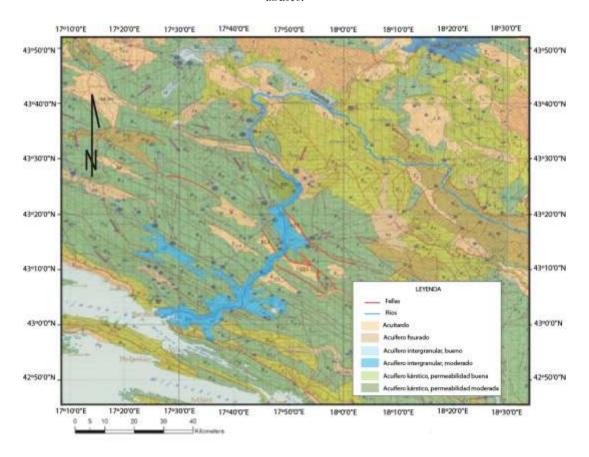


Figura 56a Detalle del río Neretva antes de la digitalización.

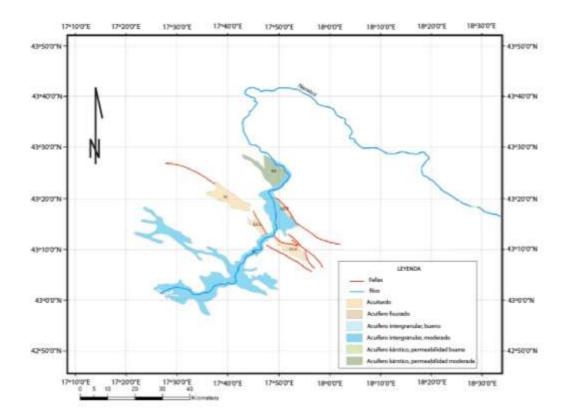


Figura 56b Detalle del río Neretva después de la digitalización.

REFERENCIAS

- Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID). 1995-2010 15 years of Spanish cooperation in the Balkans. Sarajevo, Bosnia-Herzegovina: AECID; 2010.
- Bernoulli D, Jenkyns H. Alpine, Mediterranean and central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation 2011. 1974;19:129-160.
- Biondic B, Biondic R, Dukaric F. Protection of karst aquifers in the Dinarides in Croatia. Environmental Geology Springer-Verlag 1998. 34;4.
- Boydak M, Dog M. The exchange of experience and state of the art in sustainable forest management. XI World forestry congress. Antalya, Turkey: FAO; 1997.
- Borysova O, Kondakov A, Paleari S,Rautalahti L, StolbergF, DalerD. Eutrophication in the Black Sea region, impact assessment and Causal chain analysis. Sweden: University of Kalmar; 2005.
- Breznik M, Steinman F. Desalination of Coastal Karst Springs by Hydro-geologic, Hydro-technical and Adaptable Methods. Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering; 2011.
- Bugarski R. Lengua, nacionalismo y la desintegración de Yugoslavia. Revista de antropología social número 6 1997.
- Casanova M. La Yugoslavia de Tito, el fracaso de un estado multinacional. Espacio, tiempo y forma 2004;16:337-349.
- Dinaric Karst Aquifer System (DIKTAS). Disponible en: <u>URL:http://dinaric.iwlearn.org/</u> Consultado junio 28, 2011.
- European Environment Agency (EEA). Land use and land cover survey tool with ground-level pictures. Corine Land Cover 2000. EEA; 2006.
- Feng J, Cui Z, Zhu P. Origin of terra rossa over dolomite on the Yunnan-Guizhou Plateau, China. Beijing, China: Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences; 2008.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Alpine region.

 Disponible en:

 URL:http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/brochures/nat2000_alpine.pdf Consultado mayo 23, 2011.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Mediterranean region. Disponible en: <u>URL:http://www.fao.org/forestry/docrep/wfcxi/publi/V6/T383E/2-3.HTM</u> Consultado mayo 23, 2011.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World reference base for soil resources. Rome, Italy: FAO; 2006.
- Ford D, Williams P. Karst hydrogeology and geomorphology. Chichester, England: John Wiley & sons, 2007.
- Fritz F. Effect of recent sea level change on development of karst phenomena. Proceedings of the International Symposium Geomorphology and Sea. Mali Loinj,

- Croatia: University of Zagreb; 1992. p. 85-92.
- Gams I. Tectonics impact on poljes and minor basins, case studies of Dinaric Karst. Acta Carsologica 2005. 34;1:25-41.
- Global Environmental Facility (GEF). Disponible en: <u>URL:http://www.undp.org/gef/</u> Consultado junio 25, 2011.
- Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de fomento de España. ETRS89. Disponible en:
 - <u>URL:http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/instituto_geografico/geodesia/red_geodesicas/etrs89.htm</u>
 - Consultado agosto 16, 2011.
- Knezevic M. Study of the water regime of the Moraca River and Skadar Lake [PhD]. Podgorica, Montenegro: WWF; 2009.
- Kukuric N, Ganoulis J, Aureli A. Importance of transboundary karst aquifer resources in South Eastern Europe (SEE). Sustainability of the karst environment, Dinaric karst and other regions UNESCO. IHP-VII series on groundwater number 2 2010. 65-74.
- Lucic I, Baksic D, Mulaomerovic J, Ozimec R. Recent research into Vjetrenica cave, Bosnia-Herzegovina and the current view of the cave regarding its candidature for the World Heritage List. 14th International Congress of Speleology. Kalamos, Hellas; 2005. P. 21-28.
- Malekovic S, Tisma S, Farkas A. Capacity for managing local development in karst areas. International Interdisciplinary Scientific Conference Sustainability of the Karst Environment, Dinaric Karst and Other Karst Regions. Plitivce Lakes, Croatia; 2009. 129-136.
- Martínez J, Padilla A. La economía de Mercado, virtudes e inconvenientes. Málaga, España: RIL editores; 2006.
- Mihevc A, Prelovsek M, Zupan N. Introduction to the Dinaric Karst. Ljubljana, Slovenia: Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU/Karst Research Institute at ZRC SAZU; 2010.
- Milanovic P. Karst of east Herzegovina and Dubrovnik littoral, karst istocne hercegovine I dubrovackog priobalja. Trebinje, Bosnia-Herzegovina; 1979.
- Milanovic P. Water resources engineering in karst. Washington D.C. 20. CRC Press LLC; 2005.
- Milanovic P. Transboundary Aquifers in Karst Source of Water Management and Political Problems Case Study, SE Dinarides. Belgrade, Serbia: University of Belgrade; 2010.
- Palinkas L, Borojevic S, Palinkas S. Metallogeny of the Northwestern and Central Dinarides and Southern Tisia. Zagreb, Croatia: Faculty of Sciences, Department of Geology, Institute of Mineralogy and Petrology, University of Zagreb; 2009.
- Pamic J, Gusic I, Jelaska V. Geodynamic evolution of the Central Dinarides. Tectonophysics 1998. 297;1998:251-268.
- Pavicic A, Terzic J, Berovic N. Hydrogeological Relationships of the Golubinka Karst Spring in Ljubac Bay, Dalmatia, Croatia. Geologia croatica Zagreb 2006. 59;2:125-137.
- Radulovic M, Misurovic A, Dubljevic V. Quality of karstic aquifer water in the

- catchment area of Skadar lake and water protection problems; 2011.
- Ravbar N. karst aquifer hazard assessment and mapping on the classical karst. Acta geographica Slovenica 2006. 46;2:169–189.
- San Valero profesores. Structural geology. Disponible en: <u>URL:http://profesores.sanvalero.net/~w0548/mediofisico.html</u>
 Consultado septiembre 4, 2011.
- Schmid S. Orogenic processes in the alpine collision zone. Switzerland: Birkhauser; 2008. p. 532.
- Sliskovic I. Identification of karstification depth in south-western Bosnia using the tracer method. Geologia croatica Zagreb 1995. 48;2:177-148.
- Southern African Development Community (SADC). Hydrogeological mapping project hydrogeological mapping procedures and guidelines. South Africa: SADC; 2010.
- Stadler P, Leis A, Stadler H, Häusler H. The use of environmental isotopes for event monitoring at an overthrusted karst aquifer in the Dinarides, north-western Croatia. Geophysical Research Abstracts 2011. 13.
- Stevanovic Z, Eftimi R. Karstic sources of water supply for large consumers in southeastern Europe, sustainability, disputes and advantages. Belgrade, Serbia: Department of Hydrogeology, Centre for Karst Hydrogeology, University of Belgrade; 2010. p. 179-185.
- Steven A. Meteorology: understanding the atmosphere. Brooks cole; 2002.
- Struckmeier W, Margat J. Hydrogeological maps: A guide and a standard legend. Hannover, Germany: International Association of Hydrogeologists, Hannover; 1995.
- The Institute for Environment and Sustainability (IES). Soil map <u>URL:http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/ESDB/index.htm</u> Consultado junio 12, 2011.
- The New York Times. Independence of Croatia, general information of Croatia.

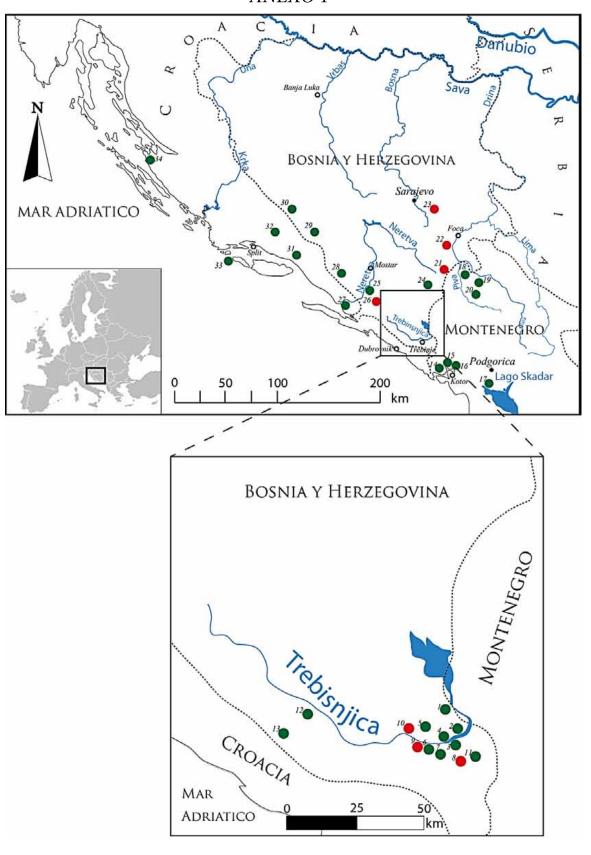
 Disponible

 URL:http://topics.nytimes.com/top/news/international/countriesandterritories/croatia/index.html?scp=1&sq=independence%20of%20croatia&st=cse

 Consultado mayo 10, 2011.
- The New York Times. Independence of Slovenia, general information of Slovenia. Disponible
 - en: <u>URL:http://topics.nytimes.com/top/news/international/countriesandterritories/slovenia/index.html?scp=2&sq=independence%20of%20slovenia&st=cse</u>
 Consultado mayo 10, 2011.
- Tomljenovic B. Orogenic processes in the alpine collision zone. Switzerland: Birkhauser; 2008. p. 5282.
- United Nations Development Programme (UNDP). Country Sector Assessments UNDP Goal Wash Programme Governance, Advocacy and Leadership for Water, Sanitation and Hygiene. Volume 1 Bosnia and Herzegovina. New York: UNDP; 2009.
- United Nations Development Programme (UNDP). UNDP results framework. New York: UNDP; 2010.
- United Nations Development Programme (UNDP). DIKTAS, Protection and Sustainable

- Use of the Dinaric karst Transboundary Aquifer System. Project inception report and project document. Albania, Bosnia & Herzegovina, Croatia, and Montenegro: UNDP; 2010.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Environmental Performance Review of Albania. Geneva, Switzerland: UNECE; 2002.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Environmental Performance Review of Serbia and Montenegro. Geneva, Switzerland: UNECE; 2002.
- U.S. Naval Weather Service Numerical Environmental Products Manual, NAVAIR 50-IG-522, Section 4.1. USA; 1973.
- Vrba J. Historia, situación actual y tendencias en Cartografía Hidrogeológica. Boletín Geológico y Minero 2000;111:125-133.
- Working Group of Hydrogeology (WG). Report Montenegro, Albania, B&H and Croatia. Trebinje, Bosnia and Herzegovina: WG; 2010.

ANEXO 1



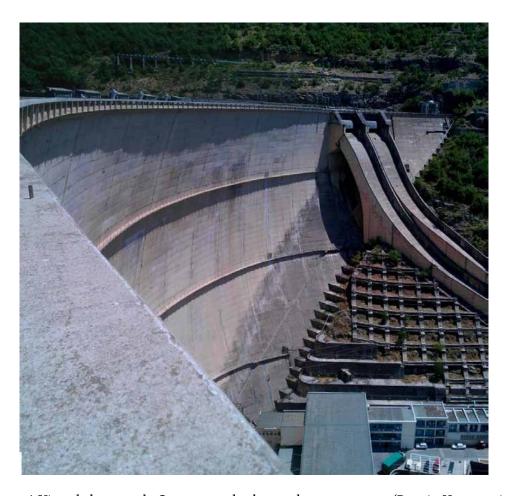


Figura 1 Vista de la presa de Grancarevo desde uno de sus extremos (Bosnia-Herzegovina)



Figura 2 Río Trebisnjica aguas abajo de la presa de Grancarevo (Bosnia-Herzegovina)



Figura 3 Aguas embalsadas por la presa de Trebinje II, por muy debajo del nivel normal de embalse debido a trabajos de mantenimiento (Bosnia-Herzegovina)



Figura 4 Vista de la presa de Trebinje II desde aguas abajo del río Trebisnjica (Bosnia-Herzegovina)



Figura 5 Vista de los carbonatos cretácicos bien estratificados con el pico Leotar al fondo (1.228 m) (Bosnia-Herzegovina)



Figura 6 *Stone Bridge*, inicialmente construido aguas arriba de la presa Trebinje II, trasladado y actualmente operativo sobre el río Trebisnjica a su paso por el pueblo de Trebinje (Bosnia-Herzegovina)

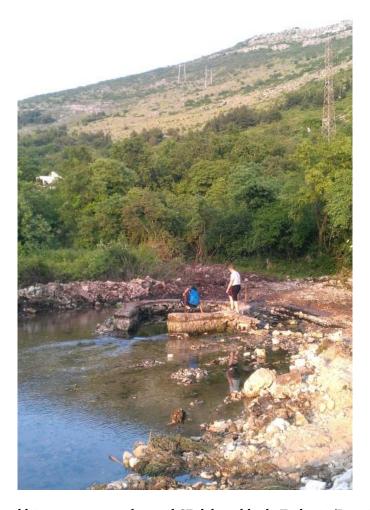


Figura 7 Manantial kárstico en aguas bajas al SE del pueblo de Trebinje (Bosnia-Herzegovina)



Figura 8 Vertedero de Trebinje sobre materiales carbonatados karstificados (Bosnia-Herzegovina)

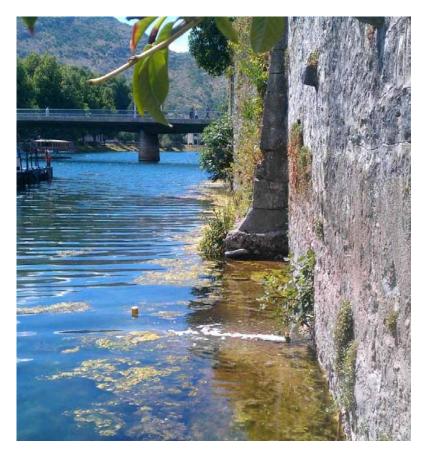


Figura 9 Aguas residuales vertidas sin depuración previa al cauce del río Trebisnjica en Trebinje (Bosnia-Herzegovina)



Figura 10 Camión abandonado sin ninguna capa impermeable que proteja las aguas subterráneas de posibles vertidos del mismo (Bosnia-Herzegovina)



Figura 11 Polje en Turmenti desde su borde este (Bosnia-Herzegovina)



Figura 12 Polje de Popovo en su parte más oriental (Bosnia-Herzegovina)



Figura 13 *Proteus Anguinus* en la cueva de Vjetrenica (Bosnia-Herzegovina)



Figura 14 Manantial activo de Morinjska en aguas bajas (junio, 2010) (Montenegro)

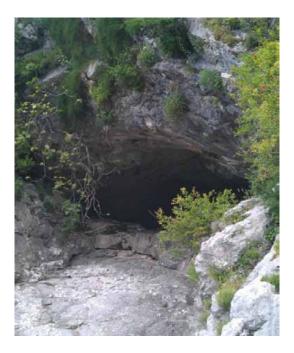


Figura 15 Manantial agotado de Sopot en aguas bajas (junio, 2010) (Montenegro)

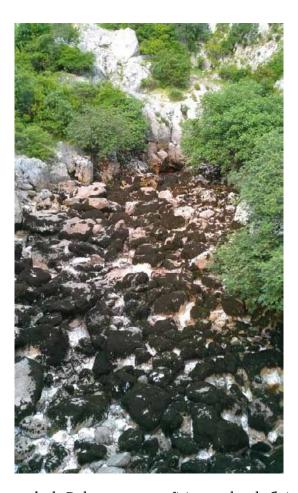


Figura 16 Manantial agotado de Dobrota en superficie con algo de flujo subsuperficial (junio, 2010) (Montenegro)



Figura 17 Panorámica del lago Skadar desde su borde NO (Montenegro)



Figura 18 Panorámica del lago Veliko desde su borde SE. Se observa la forma en U propia de valles glaciares así como la dirección y sentidos predominantes del flujo de antiguos glaciares



Figura 19 Dolina cerca del pico Maglic donde se observa claramente la situación del sumidero kárstico (Montenegro)



Figura 20 Meanderkarren métrico rodeado de rillenkarren y alguna kamenitza (Montenegro)



Figura 21 Contaminación puntual por aguas residuales en primer plano y un cauce de torrente en segundo plano en Sutjeska (Bosnia-Herzegovina)



Figura 22 Fábrica de papel abandonada sobre el río Drina, cerca de Foca (Bosnia-Herzegovina)



Figura 23 Fábrica abandonada cerca de Sarajevo (Bosnia-Herzegovina)



Figura 24 Panorámica del polje de Gacko tomada desde su borde NE. Se observa el pueblo de Gacko y hacia el borde superior derecho de la panorámica una central térmica (Bosnia-Herzegovina)



Figura 25 Vista del río Neretva aguas abajo del pueblo de Mostar (Bosnia-Herzegovina)



Figura 26 Coche abandonado sin ningún tipo de capa impermeable de separación con el substrato (Bosnia-Herzegovina)



Figura 27 Panorámica del curso bajo del río Neretva con la práctica totalidad de su superficie ocupada por cultivos de regadío (Croacia)



Figura 28 Cascadas de Kravice, en Ljubuski, Bosnia-Herzegovina



Figura 29 Perfil de leptosol con terra rossa y roca caliza en superficie (Bosnia-Herzegovina)



Figura 30 Perfil de leptosol con terra rossa (\sim 60 cm) y roca de falla (caliza) (Bosnia-Herzegovina)



Figura 31 Talud de carretera donde se observa la karstificación en profundidad, con cavernamientos de escala decimétrica (Croacia)



Figura 32 Rillenkarren desarrollado sobre calizas cretácicas (Croacia)



Figura 33 Isla de Solta, que representa la generalidad de todas las demás islas, compuestas por roca caliza en superficie, *terra rossa* y desarrollo de vegetación, fundamentalmente coníferas o garriga (Croacia)



Figura 34 Panorámica que muestra la multitud de islas de la costa croata