

Espeleología física del karst de Aralar.

Una visión global de sus principales cavidades y sistemas subterráneos.

Carlos GALAN.

Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Febrero 2004.

RESUMEN.

Se describen los principales rasgos físicos del karst de Aralar (Gipuzkoa - Navarra), ofreciendo una visión global de su estructura geológica, cavernas y sistemas de drenaje subterráneo. El trabajo es una síntesis de los conocimientos espeleológicos e hidrogeológicos obtenidos a lo largo de más de 50 años de exploraciones subterráneas. En la Sierra de Aralar han sido exploradas más de 850 cavidades, en su mayoría simas de trazado vertical, en muchos casos de importante desnivel y en otros con presencia en la zona profunda de ríos subterráneos caudalosos. La mayor cavidad hasta ahora conocida es la Sima de Ormazarreta 2, de -576 m de desnivel y 7 km de desarrollo. Algunas circulaciones subterráneas, verificadas mediante ensayos con trazadores (fluoresceína sódica), alcanzan 870 m de desnivel y 11 km de extensión lateral.



INTRODUCCION.

La Sierra de Aralar es una montaña calcárea situada sobre el anticlinorio sur del Arco Plegado Vasco. La mayor extensión del macizo corresponde al territorio de Navarra, mientras que el sector occidental pertenece a Gipuzkoa. La altitud de los afloramientos calcáreos oscila entre 300-400 m.snm. en los valles periféricos y un máximo de 1.427 m.snm. en la cumbre de Irumugarrieta. Una gran parte de las superficies kársticas está por encima de los 800 m de altitud y la mayoría de las cumbres supera los 1.000 m. El macizo constituye a su vez una divisoria hidrográfica: la parte W-NW drena hacia el Mar Cantábrico, mientras que la E-SE tiene un drenaje hacia la cuenca del Ebro y posteriormente al Mar Mediterráneo.

La cadena montañosa tiene una extensión de 30 km (en sentido E-W) x 12 km (en sentido N-S) y está constituida principalmente por materiales calcáreos karstificados de edades Jurásico tardío (Dogger y Malm) y Cretácico temprano (Complejo Urgoniano). Entre ellos hay materiales de menor permeabilidad, que pueden dar origen a pequeños arroyos, pero los cuales se infiltran al alcanzar los tramos calizos más permeables. Así, puede decirse que en la dilatada superficie de la sierra no existe una red de drenaje normal, superficial. Las precipitaciones recibidas se infiltran, circulan subterráneamente, y dan origen a una serie de manantiales situados en la

periferia. Entre las altas cumbres de la parte central de la sierra y los manantiales o surgencias de su periferia, existe un considerable desnivel a salvar por las aguas, lo que ha generado una amplia red de conductos subterráneos que se organizan en un cierto número de sistemas y aparatos hidrológicos kársticos independientes.

En la Sierra de Aralar los fenómenos kársticos están ampliamente desarrollados. Junto a zonas boscosas se presentan otras desnudas, unas veces muy lenarizadas, otras acribilladas de dolinas, simas y cuevas. La práctica totalidad de las precipitaciones recibidas, sea en forma de lluvia o de nieve, se infiltra en las rocas calcáreas y acaba por circular subterráneamente hacia las surgencias. El límite territorial no coincide con el límite de cuencas; así, parte del Jurásico guipuzkoano drena hacia Navarra, mientras que parte del Urganiano navarro drena hacia Gipuzkoa. En la periferia del macizo, no obstante, hay algunos sectores en los que las pérdidas por escorrentía pueden llegar a ser relativamente importantes.

Esquemáticamente, las mayores surgencias navarras son: el Nacedero del Río Larraun, en Iribas, que recoge las aguas del amplio sinclinal central; la surgencia inferior de Iribas, que drena el Jurásico Norte pero a la vez vuelve a capturar las aguas que habían emergido en el Nacedero; la surgencia de Irañeta, que captura lo absorbido por el anticlinal sur; y el acuífero de Latasa, que drena la parte E en forma difusa hacia el cauce del Larraun. En Gipuzkoa, los volúmenes surgentes son menores, como corresponde a su menor superficie; no obstante existen tres grandes surgencias en la parte guipuzkoana: el conjunto de Zazpi iturrieta, en Amézqueta, que drena el Urganiano norte; el manantial de Osin berde, en Zaldibia, que drena el Jurásico central; y la surgencia de Aia iturrieta, en Ataun, que descarga la primera barra caliza del Urganiano sur.



EL KARST DE ARALAR.

Las cavernas no son elementos aislados; están situadas en un contexto más amplio: el macizo que las contiene. Y forman parte de un sistema en el que no sólo la roca, sino también el agua que circula a través de ella, pasan a ser constituyentes esenciales. Los vacíos excavados en la masa rocosa son producto de la acción físico-química de las aguas circulantes. El agua es el sujeto activo y la roca el soporte pasivo de su acción. Lo esencial de la karstificación reside en que se logre establecer una red de drenaje subterráneo que a la vez ocasione la desaparición más o menos completa del drenaje superficial. Y ésto es precisamente lo que ocurre en Aralar y por lo cual la Sierra de Aralar es un karst. Las cavernas accesibles que hoy exploramos son o han sido parte de los sistemas de drenaje subterráneo que sucesivamente han evolucionado a lo largo del tiempo hasta la situación actual.

Las calizas son relativamente solubles en el agua cargada de gas carbónico (CO₂), siendo su solubilidad media de 200-250 mg/l. Pero la permeabilidad de las calizas depende de su litología y estructura, ya que

facilita o impide la penetración de las aguas. La permeabilidad depende así de las fisuras y discontinuadas creadas durante su diagénesis y por la deformación posterior de las capas: planos de fractura y de estratificación, diaclasas y fallas. Además las calizas generalmente contienen cierto porcentaje de elementos insolubles en su composición. En las calizas margosas el porcentaje de arcilla alcanza 5 á 35%. Cuanto mayor es el tenor en insolubles de las calizas, más difícil resulta su karstificación, ya que el residuo de la disolución tiende a colmatar las fisuras y las cavidades. La existencia de sales diversas en el agua puede complicar también la disolución, aumentándola o disminuyéndola según las sustancias presentes. Pero para que se forme el karst es necesario también que el estado inicial de la roca sea favorable a la infiltración y que exista un gradiente hidráulico. En ello interviene la litología de los materiales y su grado de fracturación, pero el aspecto primordial aparece una vez que una parte de las aguas infiltradas logran crear caminos preferenciales para conducir la infiltración, lo que es condicionado a su vez por las diferencias de potencial (hidráulico) entre las distintas partes del karst. Ello está en relación con el dispositivo topográfico y con la presencia de niveles de base locales hacia los cuales pueda drenar subterráneamente el sistema. Las condiciones hidrogeológicas de conjunto (incluyendo el relieve exterior) permiten explicar la existencia de zonas diferentemente karstificadas (GALAN, 1991).



La estructura creada por el establecimiento del drenaje subterráneo difiere considerablemente del patrón de fracturación y del dispositivo inicial. El karst en calizas muestra una superposición de estructuras, cada una de las cuales corresponde a la puesta en funcionamiento de un sistema de drenaje subterráneo.

Para entender la evolución del karst a lo largo del tiempo, las cavernas accesibles suministran innumerables indicios, preservados bien sea en la morfología de sus galerías o en los rellenos sedimentarios que contienen. En Aralar, junto a cavidades y galerías hidrológicamente activas, por las que circula el drenaje actual, existen otras cuevas y galerías inactivas o fósiles, las cuales corresponden a fases de excavación que ocurrieron en el pasado, asociadas a drenajes anteriores en el tiempo (GALAN, 1978, 1989; MAIRE et al., 1989; UGARTE, 1986). La visión de conjunto permite entender la distribución que presentan los vacíos y cavernas en el interior del volumen rocoso y su relación con el patrón de drenaje subterráneo actual. De igual modo existe una morfología de superficie asociada a la

evolución experimentada por el karst.

Tal vez lo más importante a destacar sobre el karst de Aralar es el notable volumen de vacíos subterráneos que alberga, a lo largo de un considerable desnivel. Por el contrario, la heterogeneidad litológica y estructural es responsable de la compartimentación del karst en distintos sistemas y aparatos hidrológicos, de la pobre conexión hidráulica en algunos sectores, y por último de la escasa extensión lateral que posee la mayoría de las cavernas conocidas. Aunque Aralar posee un extraordinario número de simas, pocas de sus cuevas son extensas lateralmente.

En la Sierra de Aralar (Gipuzkoa y Navarra) han sido exploradas 850 cavidades, pero probablemente la cifra total sea superior a 1.000. El desarrollo acumulado de todas las macrocavernas o galerías subterráneas conocidas alcanza 70.000 m; pero existe una cifra 10 veces mayor de mesocavernas (de diámetros menores, de entre 20 y 0,1 cm, y por tanto no penetrables por el ser humano, pero sí habitadas por cavernícolas); y una cifra más considerable aún de microcavernas y vacíos menores (inferiores a 0,1 cm). Este volumen subterráneo, incluido en el interior de la masa rocosa, ofrece una importante superficie habitable -para la fauna cavernícola-, probablemente mayor que la superficial.

En los siguientes apartados ofreceremos una visión de conjunto del karst de Aralar y de las cuevas y sistemas subterráneos que contiene.

EL MEDIO FISICO.

Las condiciones actuales de Aralar son las siguientes: Las precipitaciones medias son de 1.700-1.800 mm/a y la evapotranspiración real de 530 mm/a, con lo que el módulo medio de infiltración anual es del orden de 37,7 l/s de caudal generado por cada km² de superficie de cuenca. El karst de Aralar corresponde a una zona “muy húmeda”, definida por una relación ETR/P comprendida entre 0,5 y 0,25 (el valor de este cociente en Aralar es de 0,31).

La vegetación natural dominante es el bosque de hayas (*Fagus sylvatica*), con un pequeño porcentaje de robles (*Quercus robur*) en las zonas bajas del N y relictos de encinar (*Quercus ilex*) sobre cantiles calizos en algunas zonas bajas del S. En las orillas de los ríos el hayedo suele presentar fresnos y olmos; el bosque denso de hayas habitualmente posee ejemplares dispersos de tejo (*Taxus baccata*) y acebo (*Ilex aquifolium*). En los niveles altos existen pastizales producto de la intervención humana, dedicados principalmente al pastoreo de ovejas y, en menor proporción, de ganado caballar y vacuno. Cabe destacar que lo que hoy observamos es un resultado histórico; la deforestación experimentada en Aralar por acción del hombre en los últimos 4.000 años ha sido importante, pasándose de una cobertura vegetal de hayedo del 95%, a menos de 18% en la actualidad. La pérdida de suelos ha acompañado este proceso y en las zonas altas es hoy frecuente que aflore la roca desnuda, con extensas zonas de lapiaz descubierto. La acción del hombre ha implicado también la sustitución de extensas áreas de vegetación natural por plantaciones de coníferas exóticas. Todo ello, desde un punto de vista ecológico, sin duda ha introducido cambios, con el consiguiente empobrecimiento de los ecosistemas de superficie y subterráneos.



Climáticamente, las precipitaciones están bien repartidas a lo largo del año, siendo todos los meses fisiológicamente húmedos en lo que a la vegetación respecta. Como parte de las precipitaciones ocurre en forma de nieve durante el invierno (en mayor cantidad y extensión en los niveles altos), los mayores caudales subterráneos coinciden con la fusión de las nieves en primavera y múltiples veces a lo largo del año coincidiendo con las épocas lluviosas. El estiaje o época de caudales bajos es muy reducido y normalmente se presenta a final del verano e inicios del otoño (Septiembre-Octubre). No obstante, como la pluviometría es muy variable de unos años a otros, hay años en que este período de estiaje prácticamente falta. En otras ocasiones, en cambio, el invierno puede contener períodos de aguas muy bajas.

En las cavidades subterráneas la humedad relativa es muy elevada durante todo el año y las cuevas poseen una atmósfera saturada o próxima a la saturación. Durante las épocas de aguas bajas todos los cursos subterráneos disminuyen su caudal, y los cuerpos de agua pequeños (charcas, gours, pequeños lagos) pueden desecarse parcial o completamente. En el ambiente subterráneo, el otoño y el invierno suelen poseer algunos períodos “secos” (en el sentido indicado), mientras que las lluvias y la fusión de las nieves en primavera incrementan los caudales subterráneos y las cuevas permanecen muy húmedas hasta la primera parte del verano.

La temperatura en las cuevas es muy estable y experimenta escasas variaciones a lo largo del año. Generalmente equivale a la temperatura media anual de la localidad en que se encuentran y suele oscilar menos de 2°C con respecto a este valor medio. Las cuevas situadas a baja altitud en Aralar poseen temperaturas del aire ambiente próximas a 10°C. En los niveles altos llegan a alcanzar valores de 7°C para altitudes de 1.200 m. La temperatura del agua suele ser un poco más baja, 1-2°C menor que la temperatura ambiente. No obstante, las temperaturas de la roca, del agua y del aire tienden a equilibrarse. Las cuevas con ríos subterráneos pueden tener temperaturas algo menores y variables, a tenor de sus aportes externos. Las simas y cavidades descendentes, sobre todo si recogen nieve en sus bocas, suelen ser cavidades frías, ya que el aire frío es más denso y tiende a acumularse en el fondo. La fusión (invernal o primaveral) de las nieves aporta aguas de infiltración al endokarst muy frías, por lo que es común la existencia en Aralar de cavidades situadas a p.ej. 800 m de altitud y con una temperatura del agua de 5°C. Algunas surgencias periféricas (como

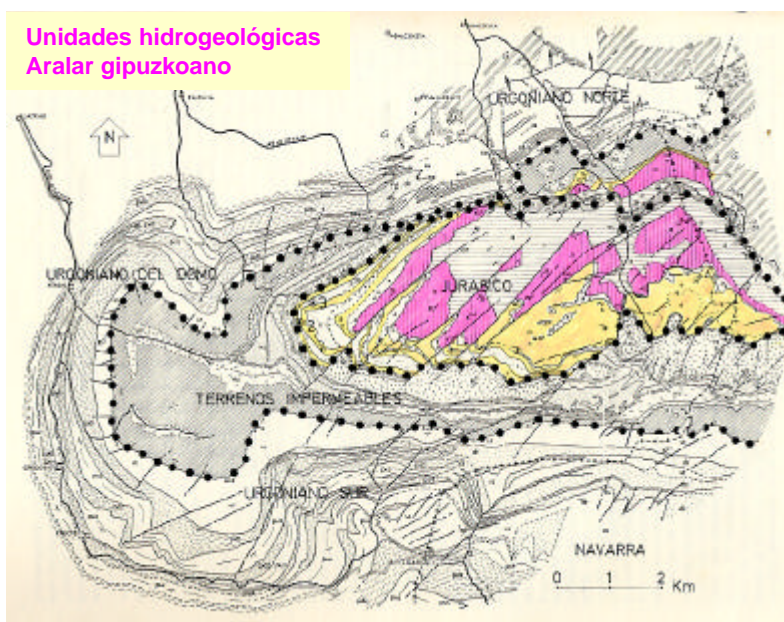
Osin berde y Urtxikiain, que drenan zonas altas Jurásicas) poseen incluso en verano una temperatura del agua de 7°C, aunque están situadas a apenas 300-400 m de altitud. Pero hay que recordar que su cuenca de alimentación asciende hasta una altitud de 1.400 m (GALAN, 1999).

En resumen, la Sierra de Aralar constituye actualmente un karst de montaña en zona húmeda forestal bajo clima templado. La karstificación ha sido intensa y ha dispuesto de un considerable lapso de tiempo (desde la emersión del territorio en el Eoceno) para efectuar su trabajo.

CONTEXTO GEOLOGICO.

La Sierra de Aralar es una potente serie de sedimentos Jurásicos y Cretácicos que, a grandes rasgos, presenta una estructura de anticlinal doble, cabalgante en su parte N. Un detallado panorama de la geología de la región ha sido expuesto por DUVERNOIS et al. (1972), RAT & FLOQUET (1975), y FLOQUET et al. (1977). Trabajos adicionales han sido producidos por CASTIELLA et al. (1982), FLOQUET & MATHEY (1984) y EVE (1992). Como otros autores en esta misma página web estudian en detalle la geología de la sierra, aquí sólo presentaremos una visión sintética en relación a la Espeleología y a la organización de los sistemas de drenaje subterráneo, en parte develados por las exploraciones espeleológicas.

Litológicamente las rocas carbonáticas de la sierra comprenden tres tramos calcáreos separados unos de otros por tramos poco o nada permeables, básicamente margo-arcillosos o arcillo-arenosos. El tramo impermeable basal comprende materiales del Keuper (Triásico), principalmente margas y arcillas yesíferas. Sobre éste se desarrolla un tramo calizo, en parte dolomítico, del Lías temprano (Jurásico), de muy limitada extensión. Sobre éste se presenta un potente conjunto de margas arcillosas del Lías medio-tardío al que



suprayacen calizas compactas del Dogger-Malm (Jurásico) incluyendo a techo calizas lacustres de facies Pürbeck. A éste tramo sigue otro prácticamente impermeable constituido por lutitas y esquistos Wealdienses-Aptienses (Jurásico terminal - Cretácico basal). Rodeando a las formaciones anteriores se desarrolla un potente conjunto de calizas recifales (complejo Urgoniano) del Cretácico temprano, que está a su vez contorneado por formaciones detríticas del Cretácico tardío.

De esta forma, las calizas karstificables del Jurásico central de la sierra (Dogger y Malm) quedan aisladas de las calizas Urgonianas (Cretácico temprano). Cabe agregar, en el interior mismo del Urgoniano, la presencia de facies terrígenas, que

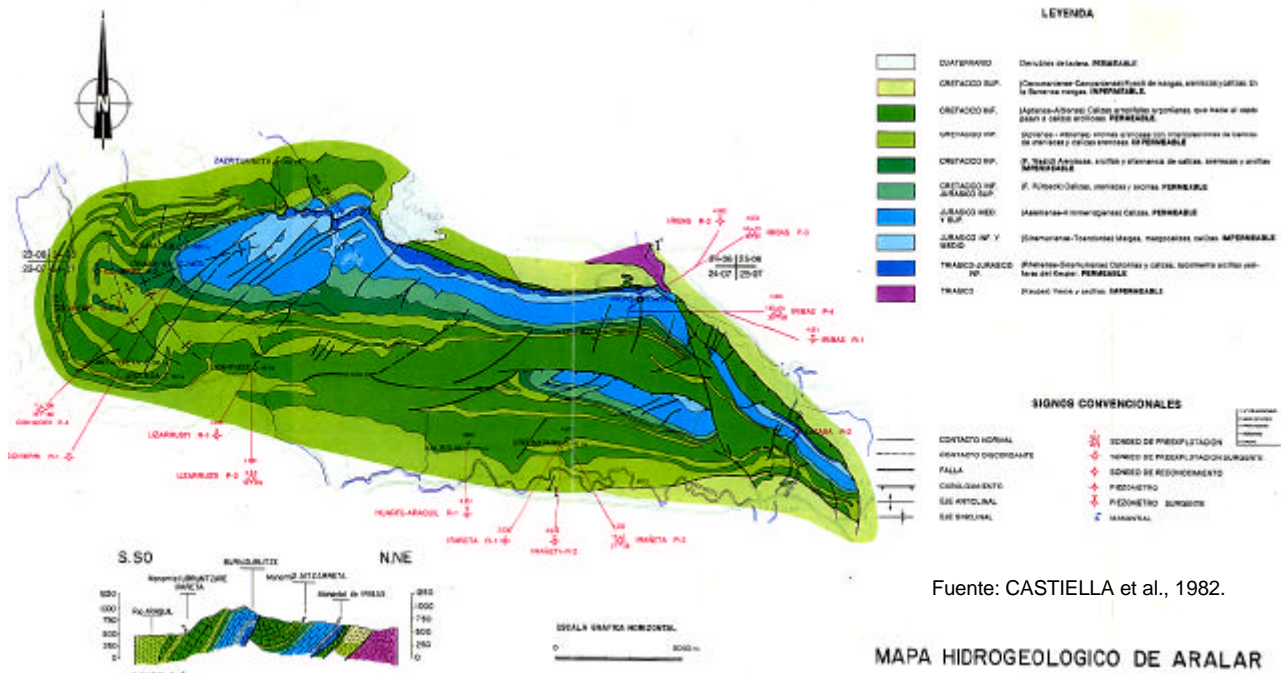
juegan el papel de zonas impermeables suplementarias: el complejo Urgoniano está constituido por una alternancia de calizas recifales compactas ("barras" en el relieve actual) y "depresiones" arcillo-arenosas. De W a E se pasa lateralmente a niveles paraurgonianos constituidos por una alternancia de calizas margosas, mucho menos karstificables, y arcillas esquistosas. Estos diferentes niveles fragmentan la masa caliza de Aralar en una serie de unidades kársticas independientes.

Estructuralmente, la sierra de Aralar es un anticlinal que de W a E evoluciona a anticlinal volcado y posteriormente a cabalgamiento, con la práctica desaparición de su flanco N.

En la parte W guipuzkoana el anticlinal es único y se ve cruzado por otro menor y perpendicular que forma el abombamiento estructural denominado "Domo de Ataun". Hacia el E el Anticlinal del Txindoki (o Anticlinal de Aralar) acentúa su disimetría, y se va volcando hasta formar un cabalgamiento. La falla o cizallamiento de Azkárate hace desaparecer bruscamente el flanco N. Las calizas Urgonianas del flanco N se presentan en disposición invertida, para acentuarse dicha situación hacia el E, hasta desaparecer bruscamente en Navarra.

La continuación navarra hacia el E ha sido denominada “Escama de Aralar” y comprende este flanco S del anticlinal cabalgante, básicamente constituido por materiales Jurásicos. Un suave pliegue o cubeta sinclinal Urganiana lo une en Odéziz a otro cabalgamiento N que hace que reaparezca el Jurásico. Esta estructura genera una segunda escama cabalgante al N y desdobra por así decirlo el pliegue generando un segundo anticlinal (Anticlinal sur, en la parte Navarra de la sierra).

Más hacia el E una zona de fallas (en Muguiro y Astiz) corta en bisel las dos escamas citadas, modificando la alineación previa E-W de las capas y haciéndola NW-SE. La terminación oriental se debe a una falla transversal NNE-SSW (cizallamiento de Gulina), tras la cual desaparecen los materiales carbonáticos de la sierra.



Desde un punto de vista de estudio del karst, podríamos resumir diciendo que las principales zonas o sectores kársticos comprenden los tramos calizos más compactos del Jurásico (Dogger-Malm, incluyendo la facies Pürbeck) y del Urganiano (subdividido en diferentes sectores por la disposición del relieve y la alternancia de intercalaciones arcillosas). En la parte alta de la sierra, en torno al macizo de Ganbo, el Jurásico central guipuzkoano abarca una gran extensión, mientras que hacia Navarra se resuelve en una banda alargada. Por el contrario, en Navarra, el sinclinal central y el anticlinal sur poseen extensos afloramientos continuos de calizas Urganianas, mientras en Gipuzkoa los materiales Urganianos más compactos forman una serie de barras separadas, de las cuales sólo la primera barra está fuertemente karstificada, además de estar fragmentada por la erosión de superficie en torno al domo de Ataun.

Todo ello da lugar a que se genere un cierto número de sistemas kársticos y una morfología de superficie asociada a los mismos. Como ha sido dicho, los pequeños cauces formados sobre los niveles margo-arcillosos intercalados en las calizas, se sumen en su mayor parte al alcanzar los materiales permeables, y otorgan también a cada sistema peculiaridades específicas. A diferencia de las dolinas y el lapiaz, los sumideros permiten el ingreso concentrado y rápido de las aguas, facilitando de este modo la disolución en profundidad.

CONTEXTO EVOLUTIVO GLOBAL.

El anticlinal cabalgante de Aralar es un fragmento del anticlinorio sur del Arco Plegado Vasco (RAT & FLOQUET, 1975). El Arco Plegado Vasco es a su vez parte de la estructura pirenaica de la región y constituye una prolongación de la denominada “Zona Norpirenaica” francesa. La región que hoy constituye la Sierra de Aralar formó parte de dos cuencas sedimentarias, de paleogeografía y control tectónico diferentes. Durante el

Trias y el Jurásico se desarrolló una cuenca intracratónica (cuenca epicontinental) sobre un basamento estable, de modo similar a las demás cuencas europeas. Durante el Cretácico-Eoceno cambió la organización estructural y se constituyó la cuenca cretácica vasca acompañando al proceso de rifting del Golfo de Bizkaia. La región adquiere a su vez el carácter de una zona transformante. El posterior acercamiento de las placas de Iberia y Europa rigieron su evolución y cierre al final del Eoceno, generando la soldadura de la placa semiindependiente de Iberia a la de Europa y la formación de la cadena de colisión de los Pirineos. Las formaciones distales del sistema sedimentario fueron plegadas enérgicamente, generando los cabalgamientos y pliegues del Arco Plegado Vasco (RAT et al., 1983).

Aralar gipuzkoano desde el Sur



Datos geológicos recientes sobre la estructura pirenaica de la región, a nivel superficial y profundo (ROBLES et al., 1988; MEGIAS, 1988), muestran que en los Pirineos el proceso extensivo alcanzó un punto crítico (subafloramiento del manto superior), pero sin llegar al estado de oceanización. En el Golfo de Bizkaia, por el contrario, se creó corteza oceánica. Durante la fase compresiva, en el Golfo de Bizkaia se produce la subducción de la litosfera oceánica bajo la corteza continental de la placa Ibérica; en el límite de placas se desarrolló una fosa marginal y un prisma de acreción tectónico (BOILLLOT & MALOD, 1988). El margen noribérico en el norte de Galicia y Asturias formó un cinturón orogénico constituido por corteza continental engrosada por la subducción y convergencia de placas. Más al Este, en cambio, en los Pirineos y País Vasco, la convergencia pone en contacto corteza continental adelgazada de ambas placas (Ibérica y Europea), generando la cadena de colisión de los Pirineos y produciendo el hundimiento de la placa Ibérica bajo la Europea, como ha sido demostrado por el perfil sísmico del programa ECORS (1988), el cual muestra un decalaje de 15 km de la Moho bajo la Zona Norpirenaica.

La doble vergencia estructural de la cadena es explicada actualmente por un modelo de cizallas corticales de bajo ángulo (MEGIAS, 1988) en el cual el cabalgamiento frontal surpirenaico representa la estructura principal, mientras el cabalgamiento frontal norpirenaico es un retrocabalgamiento (back thrusting) responsable de la colocación de materiales del manto (peridotitas y granulitas) en posición supracortical. Esta interpretación implica que toda la Zona Norpirenaica ha sido corrida hacia el Norte. Según estos datos, los sedimentos marinos cretácicos del Arco Plegado Vasco (incluyendo las calizas Urgonianas de Aralar) fueron depositados sobre la placa Europea. Aspecto que es confirmado también, para la zona N de Bizkaia, por el estudio de las secuencias sedimentarias efectuado por ROBLES et al., (1988).

La región que hoy constituye Aralar emergió de las aguas a finales del Eoceno (hace 40 millones de años) y estuvo cubierta por selvas tropicales durante un extenso período. La cadena siguió elevándose durante el Oligoceno y el Neógeno, al progresar la compresión y el plegamiento pirenaicos, pero a la vez fue destruyéndose por erosión y denudación. La karstificación de la sierra se inicia bajo climas cálidos, a medida que van aflorando las calizas, pero las zonas karstificadas durante las primeras fases han desaparecido por

erosión. La edad de inicio de los grandes sistemas subterráneos actuales se remonta al Plio-Pleistoceno (MAIRE et al., 1989; GALAN, 1991). Durante el Pleistoceno se produce denudación glacial en los niveles altos, acompañada de surrección, y seguida de un hundimiento correlativo y progresivo de los niveles de base y del drenaje subterráneo (GALAN, 1978, 1999; MAIRE et al., 1989; UGARTE, 1986). El relieve actual de la sierra es el remanente que ha quedado como resultado de estos procesos.

Desde un punto de vista bioespeleológico es importante tener en cuenta esta evolución del territorio. Es probable que en el pasado el complejo Urgoniano tuviera una extensión mayor y recubriera en mayor extensión el corazón Jurásico de la sierra (GALAN, 1978; UGARTE, 1986). La remoción de las partes altas fue



acompañada de la karstificación y hundimiento del drenaje subterráneo a niveles progresivamente más bajos, hasta su posición actual. La colonización del karst por la fauna cavernícola ha podido iniciarse en esas zonas altas, hoy inexistentes; las poblaciones iniciales pudieron evolucionar en el macizo, trasladándose hacia las nuevas cavernas a medida que iban siendo creadas. Así el poblamiento cavernícola no se limita a las unidades kársticas hoy existentes, sino que debe haber incluido antiguas zonas hoy desaparecidas.

Evidencias obtenidas recientemente (GALAN & ZUBIRIA, 2002) en la Sima de Basolo (sima de -182 m de desnivel situada a 1.140 m de altitud en el Jurásico central guipuzkoano) demuestran que la denudación, al menos en esa parte de la sierra (zona de los montes Pardarri y Ganbo), ha recortado el terreno en al menos 140 m, desplazando los contactos intraformacionales Jurásico-Pürbeck 300 m en planta hacia el Sur. Esta erosión de superficie en los niveles altos de la sierra ha ocurrido probablemente entre el Pleistoceno medio y el Holoceno, y es de suponer que debe haber afectado (desigualmente) a una mayor extensión de la sierra. Igualmente, el drenaje subterráneo ha experimentado en ese sector un descenso o hundimiento de al menos 100 m de desnivel durante dicho período.

Desde un punto de vista espeleológico, muy diversas cuevas y galerías subterráneas de Aralar se encuentran hoy en posiciones topográficas que no cuentan con agua suficiente para explicar su formación. Esto ha

sido señalado desde fechas tempranas (GALAN, 1978, 1989; ETXEBERRIA et al., 1980; UGARTE, 1986). Es de interés señalar que tales hechos pueden ser comprendidos a partir de una visión que tenga en cuenta la pasada evolución de la sierra, la cual implicó el establecimiento de sucesivos sistemas de drenaje subterráneo. En esos ciclos pasados, la configuración de la sierra era distinta a la actual, e incluso puede suponerse en casos concretos que las zonas de surgencia estaban en posiciones bastante diferentes a las actuales. La erosión de superficie ha borrado casi totalmente los rasgos de esos ciclos pasados.

La evolución del relieve en Aralar ha supuesto tanto la karstificación como el desmantelamiento y remoción de materiales en su superficie. Podemos a modo de hipótesis esquematizar una configuración de la sierra y del drenaje subterráneo algo distintos a lo que hoy vemos. Probablemente para el Plioceno debamos imaginar la sierra con una cobertura más extensa de las rocas más jóvenes. Es probable que gran parte del anticlinal Jurásico estuviera cubierto por terrenos del Weald-Aptiense, y que el Domo de Ataun estuviera cubierto en su

totalidad por las calizas Urgonianas y su envoltura detrítica. Durante el Terciario tardío y el Cuaternario la erosión de superficie desmantelaría el domo y haría aflorar al Weald en su núcleo, mientras el corazón Jurásico iría siendo progresivamente despejado de materiales más jóvenes, aumentando su superficie de afloramiento. A la vez, en Alotza irían aflorando los tramos basales menos permeables de la serie marina Jurásica, desplazando las líneas preferenciales del drenaje subterráneo hacia la periferia del cuerpo anticlinal. La karstificación progresa a medida que las calizas son expuestas, pero a la vez los episodios glaciales rebajan las superficies de afloramiento recortando y haciendo desaparecer las redes antiguas. Estos procesos terminan prácticamente en el Holoceno, momento a partir del cual el relieve se muestra relativamente inmune.



El agua circula a través de un nuevo sistema de drenaje subterráneo, más profundo que los anteriores, pero la conexión a nivel humano entre antiguas y nuevas galerías se dificulta por la juventud de este último ciclo. Ello explica en parte que sólo contadas cavidades de la sierra posean hoy una extensión lateral de cierta magnitud.

CONTEXTO HIDROGEOLOGICO.

El dispositivo de las redes de drenaje subterráneo obviamente está condicionado por la litología y estructura de la sierra. Pero el relieve de superficie y, sobre todo, la posición de las surgencias, determinan en gran medida las direcciones preferenciales del drenaje subterráneo. Las surgencias normalmente se instalan en la proximidad

del contacto con materiales impermeables, donde el relieve externo recorta las cotas más bajas de las unidades calcáreas. Por lo tanto, la posición de las surgencias es consecuencia también del modelado por la erosión normal de los terrenos adyacentes a la sierra.

Dentro de Aralar, las calizas no sólo experimentaron disolución en profundidad, sino también erosión y disolución en superficie. Entre las cavernas conocidas encontramos muchos ejemplos que corresponden a fases de karstificación anteriores, asociadas a sistemas de drenaje distintos al correspondiente al ciclo actual. Este aspecto normalmente reviste escaso interés para los hidrogeólogos interesados en el aprovechamiento actual de las aguas subterráneas, pero sin embargo resulta de considerable importancia para los bioespeleólogos, interesados en comprender la colonización y evolución de la fauna cavernícola en el karst de la sierra, o para los geoespeleólogos que buscan explicaciones sobre la génesis de cavernas y galerías no asociadas directamente hoy al drenaje actual.

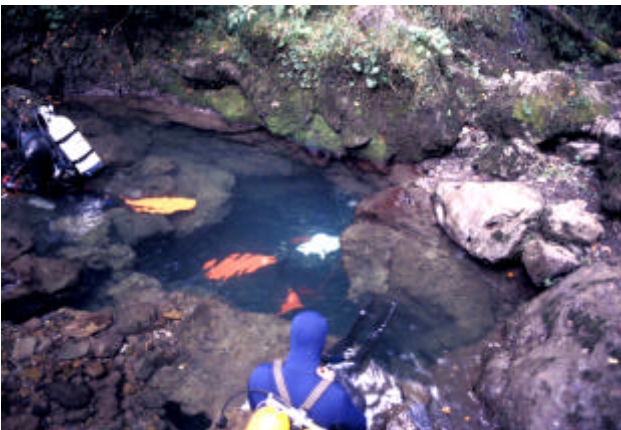
Los acuíferos actuales de la Sierra de Aralar pueden ser descritos sintéticamente del siguiente modo. Aralar es una montaña compuesta, donde las calizas de alta permeabilidad alternan con formaciones margo-arcillosas poco o nada permeables. La parte navarra de la sierra ocupa 170 km²; la parte guipuzkoana 80 km². El límite territorial no coincide con el límite hidrogeológico de cuencas y algunos sistemas subterráneos se extienden sobre ambos territorios.

Aunque una parte de las aguas abandona el macizo en forma de escorrentía o a través de pequeñas surgencias, lo fundamental de las precipitaciones se infiltra y va a dar a sólo unas pocas grandes surgencias que corresponden a los acuíferos principales.

Las grandes surgencias navarras son: el Nacedero del río Larraun, la surgencia inferior de Iribas, la surgencia de Irañeta, y los aportes de Latasa. El río Larraun consta en realidad de dos surgencias que constituyen un interesante sistema. Las aguas del Nacedero surgen en la base de una gran muralla de calizas Urgonianas (manantial de Aitzarreta), originan un breve curso superficial sobre materiales impermeables y se sumen de nuevo al alcanzar las calizas Jurásicas; circulan a continuación a través de la Sima de Lezegalde, y vuelven a surgir en el manantial situado bajo el pueblo de Iribas, recogiendo de esta forma todas las aguas infiltradas en los terrenos Urgonianos y Jurásicos del amplio sinclinal central y de la escama cabalgante. La surgencia de Irañeta, por su parte, captura lo fundamental de la infiltración absorbida por el anticlinal Sur; una surgencia menor situada en Huarte Araquil (Amurgin) drena también una parte de este acuífero; e incluso en épocas de crecida llegan a producirse otras salidas a cotas más altas. Existe por último una zona surgente difusa entre Latasa e Irurzun, a nivel del talweg del Larraun, que drena el extremo E del macizo (acuífero de Latasa). El caudal de estas surgencias deriva hacia los valles del Larraun y del Araquil y tributa sus aguas al Mediterráneo. Otras surgencias menores (en Lizarrusti, Inza, etc.) drenan pequeños sectores periféricos.



En Gipuzkoa los volúmenes surgentes son menores, como corresponde a su menor superficie, y van a parar a cinco surgencias: Osin berde y Urtxikiain (= Bonba txulo) capturan las aguas de la unidad Jurásico central. Zazpi iturrieta es un grupo surgente de drena la unidad Urgoniano Norte. La surgencia de Aia iturrieta drena la unidad Urgoniano Sur (a este sistema pertenece la red subterránea de la Sima de Ormazarreta, que se extiende a Navarra). El manantial de Ur zuloa drena afloramientos paraurgonianos localizados al S de la unidad anterior. En torno al Domo de Ataun existen



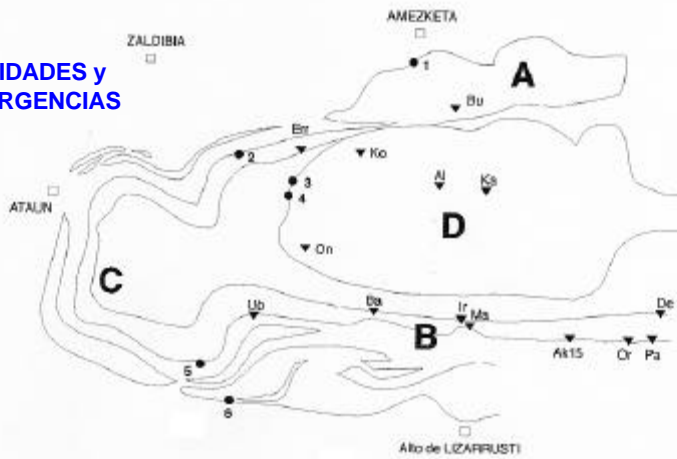
pequeños aparatos kársticos, como el constituido por la Sima de Errekonta, que surge en el manantial de Osin beltz, al pie de Ausa Gaztelu. Por último, existen otros pequeños manantiales periféricos, como: la surgencia de Arkakatxiki, que drena una orla de calizas del Pürbeck; la surgencia de la cantera de Ataun, que drena un fragmento del Urgoniano del Domo; y otras surgencias difusas en la cabecera del Agaunza y lente de Alleko pikoa. El drenaje de todas estas surgencias deriva hacia el valle del río Oria y tributa sus aguas al Cantábrico. Un resumen de datos con estimaciones de los caudales subterráneos es dado en la tabla anexa.

Aproximadamente un caudal medio de 1.400 l/s es drenado por las surgencias gipuzkoanas y 3.400 l/s por las situadas en Navarra. Las direcciones del drenaje subterráneo y la delimitación de las distintas unidades hidrogeológicas es bastante bien conocida para la parte guipuzkoana, principalmente por existir un mayor número de pruebas de coloración y datos de aforos, mientras que los datos y delimitaciones para los acuíferos navarros son más imprecisos. La mayoría de los acuíferos son poco explotables; aunque los recursos hídricos

son importantes, las reservas subterráneas son escasas, ya que la zona saturada parece tener escasa extensión. Los manantiales son extraordinariamente irregulares y acusan con gran rapidez las variaciones pluviométricas. Los sondeos efectuados sugieren que sólo el acuífero de Iribas (el más importante de la sierra)

ofrece un potencial de explotabilidad interesante (CASTIELLA et al., 1982). El funcionamiento hidráulico muestra que los acuíferos de la sierra, en general, poseen una red colectora de grandes drenes o conductos, que descarga con rapidez la mayor parte de los volúmenes infiltrados, siendo muy escasa su capacidad de regulación. En las clasificaciones propuestas por BAKALOWICZ & MANGIN (1980) y BAKALOWICZ (1986) corresponden a sistemas kársticos con un drenaje muy organizado y selectivo, que posee escasas reservas y restituye con gran rapidez las precipitaciones infiltradas a los exutorios. Los subsistemas anexos en zona saturada (conjunto de fisuras y cavidades en la zona saturada en torno a los drenajes principales) están muy poco desarrollados. Esta visión sobre la cuantía de las reservas subterráneas y la explotabilidad de los acuíferos de Aralar está siempre expuesta a cambios, a medida que se vayan adquiriendo nuevos datos y conocimientos.

UNIDADES y SURGENCIAS



ARALAR GIPUZKOANO

UNIDADES KÁRSTICAS

A. Urgoniano Norte

B. Urgoniano Sur

C. Urgoniano del Domo de Atalun

D. Jurásico Central

SUMIDEROS

Bu. Buruntxustin

Ub. Sima de Uber

Ba. Balomate

Iu. Iurreketa

Ma. Malcogi

Al15. Sima AR.15

Cr. Sima de Ormaztegui

Pa. Sima de Pagomari

De. Desao

Paraugoniano

Err. Emekonta

Periferia Domo

Ko. Kompsao

On. Sima de Ondarre

Al. Añilza

Ka. Kabela

SURGENCIAS

1. Zazpi Iturrieta

5. Aia Iturrieta

6. Ur zuloa

2. Osarbeltz

Surgencias dispersas

3. Bomba txulo

4. Osin berde

Caudales subterráneos medios de ARALAR (en lt/sg) y principales surgencias:

1. Zazpi Iturrieta.	280
2. Osin beltz.	40
3. Bomba txulo.	120
4. Osin berde.	600
5. Aia Iturrieta.	220
6. Ur zuloa.	60
7. Otras surgencias.	80
Total Aralar Gip.	1.400

1. Aitzarreta-Iribas.	2.300
2. Acuífero Latasa.	350
3. Irañeta.	600
4. Amurgin.	100
5. Lizarrusti.	50

Total Aralar Na. 3.400

Totales Aralar. 4.800

DATOS de CAUDALES

La realización de estudios hidrogeológicos e hidroquímicos más detallados, de aforos continuos en los manantiales, de nuevos sondeos de reconocimiento, pueden hacer variar el panorama expuesto.

Por parte de los espeleólogos el buceo de sifones como los de Osin berde y Bomba txulo han confirmado hasta ahora esta visión. El descubrimiento y exploración de nuevas simas, así como la realización de pruebas de coloración adicionales (deseables sobre todo para la parte navarra menos

investigada), suministran año tras año nuevos datos del más alto interés. En resumen, que se trata de un panorama muy cambiante, donde resulta extraordinariamente útil la colaboración entre espeleólogos, hidrogeólogos y organismos públicos encargados de la gestión de aguas.

PRINCIPALES CAVIDADES Y SISTEMAS SUBTERRANEOS.

El conocimiento de cavidades en Aralar data de fines del siglo 19. En Navarra, J. Iturralde y Suit descubre y explora varias cuevas y dólmenes a partir de 1894. A comienzos del siglo 20, pioneros de la Bioespeleología, como R. Jeannel y E.G. Racovitza, colectan fauna cavernícola en algunas cuevas. De igual modo el grupo de prehistoriadores formado por T. Aranzadi, E. Eguren y J.M. Barandiarán, explora con fines arqueológicos algunas otras. Pero lo fundamental de las exploraciones y su versión moderna se inician en el País Vasco en 1945, precisamente en la Sierra de Aralar. A partir de las Jornadas espeleológicas efectuadas ese año en Igaratza, en las que participan diversos investigadores catalanes y vascos, se forma la Sociedad de Ciencias Aranzadi, en Gipuzkoa, y poco después se consolida también el Grupo de Espeleología de la Institución Príncipe de Viana, en Navarra. Biólogos como R. Margalef, F. Español, E. Balcells, J. Mateu y M. Rambla efectúan trabajos sobre fauna cavernícola, mientras N. Llopis Lladó, J. Gómez de Llarena y J.



Elósegui realizan exploraciones y estudios geológicos y paleontológicos. En 1950 los grupos IPV y S.C.Aranzadi acometen el descenso y exploración con la técnica de escalas de la sima de Ormazarreta, donde alcanzan una profundidad record para esa época de -371 m. Igualmente es de destacar la exploración efectuada por encargo de la Diputación de Gipuzkoa a la sima de Ubei, donde el grupo de espeleólogos dirigido por F. Ruiz de Arcaute desciende con escalas a -198 m de profundidad. A la exploración de grandes simas se une el interés por conocer las circulaciones de aguas subterráneas, y el trabajo hidrogeológico está presente desde los primeros tiempos (RUIZ DE ARCAUTE & MARTINEZ PEÑUELA, 1958; ERASO, 1961; SANTESTEBAN, 1976, 1980).

Sin embargo, se puede decir que es a partir de finales de los años 1960 cuando comienza un trabajo sistemático y continuado de exploración de zonas y cavidades en la sierra. Desde la S.C.Aranzadi se acometen estos trabajos, comenzando por el Urganiano Sur de Aralar. La publicación de la tesis de DUVERNOIS et al. (1972) sobre la geología de Aralar, junto a la cartografía a escala 1:25.000 de la sierra, suponen un fuerte impulso para las investigaciones. Las pruebas de trazado con fluoresceína sódica permiten ir discriminando la organización y delimitación de los diferentes sistemas y unidades hidrogeológicas. Simultáneamente, a medida que avanza el conocimiento del Urganiano Sur, se acometen también exploraciones y trabajos en el Jurásico central, Urganiano Norte y Urganiano del Domo. Fruto de estos esfuerzos son las publicaciones sobre el río subterráneo de Ondarre y la karstificación de la sierra, el Urganiano Sur de

Aralar, el Urganiano de Ausa Gaztelu, el río subterráneo de Ormazarreta, los grandes sistemas subterráneos de Gipuzkoa y el estudio hidrogeológico del sistema de Ormazarreta - Aia iturrieta (GALAN, 1978; ETXEBERRIA et al., 1980, 1982; GOIKOETXEA & SANSINENEA, 1982; UGARTE, 1986; GALAN, 1988, 1989). Algunas de estas exploraciones son realizadas con la colaboración de otros grupos de la Unión de Espeleólogos Vascos, durante Jornadas de Espeleología efectuadas en Aralar. En la década de 1990 se avanza en el conocimiento del Jurásico central, con buceos en los manantiales de Osin berde y Bonba txulo, el descubrimiento de nuevas cavidades como las simas de Malkorri y Arbelo, en Gipuzkoa, y nuevas pruebas de coloración; en Navarra se exploran las interesantes simas de Ilobi (Jurásico Norte) y Amutxate (Sinclinal central). Los trabajos prosiguen en la década del 2000, con nuevas exploraciones en simas como las de Basolo, Leizebeltz, AK.15, AK.13, y varias cavidades navarras. Fruto de estos trabajos son las publicaciones de GALAN & ETXEBERRIA (1994), MANTECA et al. (1997), LANA & GEE/LET (1997), HERMOSO et al. (2001), GALAN & ZUBIRIA (2002), GALAN et al. (2002). Diversos resultados de estudios bioespeleológicos son publicados por ESPAÑOL et al. (1980), GALAN (1993, 1997, 1999, 2002), JORDANA & BERUETE (1983), BERUETE et al. (1994), NOTENBOOM (1986). Un resumen actual de las mayores cavidades de Aralar es dado en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Los mayores desniveles.

	Nombre	Desnivel	Desarrollo	Unidad	Sistema	Altitud	Fuente
1	Ormazarreta 2	576 m	6.815 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.205 m	S.C.Aranzadi
2	Ilobi	547 m	2.958 m	Jurásico Norte	Iribas	1.185 m	G.E.Estella
3	Arbelo AR-1	500 m	800 m	Jurásico Norte	Iribas	1.275 m	S.C.Aranzadi
4	Ormazarreta 1	402 m	802 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.205 m	IPV - SCA
5	Pagomari	354 m	3.300 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.158 m	S.C.Aranzadi
6	Leizebeltz	345 m	2.504 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	917 m	S.C.Aranzadi
7	Malkorri	289 m	350 m	Jurásico central	Osin berde	1.265 m	S.C.Aranzadi
8	Ondarre	260 m	3.200 m	Jurásico central	Osin berde	752 m	S.C.Aranzadi
9	Errekonta	240 m	820 m	Urgoniano Domo	Osin beltz	650 m	S.C.Aranzadi
10	Oiarbide 28	230 m	400 m	Sinclinal central	Aitzarreta	1.100 m	G.E.Satorrak
11	Elorreta	217 m	500 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	935 m	S.C.Aranzadi
12	Agaoz	210 m	350 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	919 m	S.C.Aranzadi
13	AK.15	208 m	520 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.070 m	S.C.Aranzadi
14	Ubei	202 m	270 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	676 m	S.C.Aranzadi
15	Goroskintxu	200 m	220 m	Jurásico central	Bonba txulo	817 m	S.C.Aranzadi

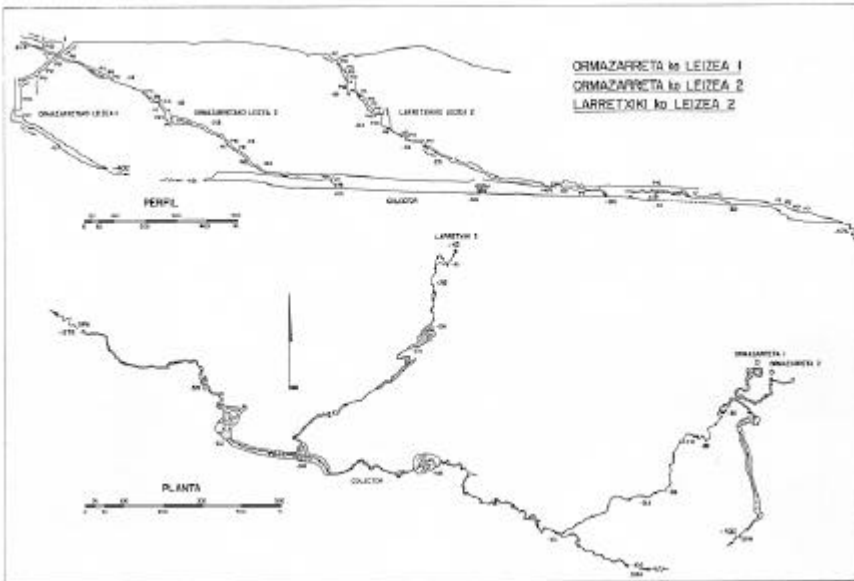
Tabla 2. Los mayores desarrollos.

	Nombre	Desnivel	Desarrollo	Unidad	Sistema	Altitud	Fuente
1	Ormazarreta 2	576 m	6.815 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.205 m	S.C.Aranzadi
2	Pagomari	354 m	3.300 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.158 m	S.C.Aranzadi
3	Ondarre	260 m	3.200 m	Jurásico central	Osin berde	752 m	S.C.Aranzadi
4	Ilobi	547 m	2.958 m	Jurásico Norte	Iribas	1.185 m	G.E.Estella
5	Leizebeltz	345 m	2.504 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	917 m	S.C.Aranzadi
6	Guardetxe	70 m	2.000 m	Sinclinal central	Aitzarreta	1.050 m	G.E.Satorrak
7	Bizkaino	195 m	1.200 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.183 m	IPV - SCA
8	Patatasoo	75 m	1.100 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	760 m	S.C.Aranzadi
9	Troskaeta	70 m	1.000 m	Urgoniano Domo	Domo Ataun	580 m	S.C.Aranzadi
10	Basolo	182 m	880 m	Jurásico central	Osin berde	1.140 m	S.C.Aranzadi
11	Errekonta	240 m	820 m	Urgoniano Domo	Osin beltz	650 m	S.C.Aranzadi
12	Ormazarreta 1	402 m	802 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.205 m	IPV - SCA
13	Arbelo AR-1	500 m	800 m	Jurásico Norte	Iribas	1.275 m	S.C.Aranzadi
14	AK.15	208 m	520 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	1.070 m	S.C.Aranzadi
15	Elorreta	217 m	500 m	Urgoniano Sur	Aia iturrieta	935 m	S.C.Aranzadi

Describiremos a continuación, con mayor detalle, las características de las distintas unidades, sistemas y grandes cavidades hasta ahora conocidas. Cabe destacar, no obstante, que muchas otras cavidades, pequeñas o de moderadas dimensiones, han resultado de interés por albergar una interesantísima fauna cavernícola o importantes yacimientos arqueológicos y paleontológicos. Para no alargar excesivamente el texto, las descripciones de cavidades serán muy breves, y el lector puede ampliar esta información consultando los trabajos publicados, reseñados en la bibliografía. Hay que destacar también que este conocimiento es provisional y cada año se incorporan nuevos datos; de igual modo, la parte guipuzkoana de la sierra ha sido prospectada y estudiada con mayor detalle que la parte navarra, donde es de esperar que se produzcan en el futuro descubrimientos de gran interés. La síntesis que presentamos se basa en los datos publicados disponibles y en nuestro propio conocimiento del karst de la sierra, más detallado para la parte guipuzkoana. El Catálogo Espeleológico de Gipuzkoa incluye datos muy completos (con localizaciones precisas, descripciones y topografías) de 488 cavidades exploradas. En la parte navarra la información abarca unas 350 cavidades, pero los datos son más dispersos y fragmentarios, no existiendo de momento una recopilación de conjunto.

URGONIANO SUR.

La delimitación de unidades karstificables en la Sierra de Aralar sigue un esquema propuesto inicialmente por GALAN (1978). El Urgoniano de la parte guipuzkoana de Aralar fue separado en tres unidades: (1) El Urgoniano Norte, constituido sobre todo por calizas compactas, bastante extendidas por la zona del Txindoki y al NE de esta cumbre. (2) El Urgoniano del Domo de Ataun, que contornea el Weald y los esquistos Aptienses impermeables que ocupan todo el centro del mismo; en esta unidad las arcillas y calizas muy margosas, paraurgonianas, están muy extendidas, y en forma práctica sólo resulta muy karstificada la primera barra de calizas urgonianas, que forma una banda delgada y fragmentaria en torno a los terrenos impermeables del domo. (3) El Urgoniano Sur, unidad muy compleja que abarca desde las crestas de Leizadi, Agaoz, Saastarri, Akaitz txiki, y Akaitz, hasta Desamendi y Lizarrusti al E y el valle del Agaunza al S. Posteriormente se demostró que el acuífero de la primera barra Urgoniana prosigue en Navarra hasta las zonas de Ormazarreta, Pago mari y Desao.



Esta primera barra Urgoniana alberga el sistema Ormazarreta - Aia iturrieta, el más extenso de Gipuzkoa y con surgencia en Aia iturrieta, pero su cabecera de cuenca está en territorio navarro. Existen además en la unidad otras barras separadas de calizas margosas paraurgonianas y una lente de calizas compactas en Allekopikoa. En el interior del paraurgoniano también se presenta karstificación, con la surgencia principal en el manantial de Ur zuloa. Surgencias difusas existen en la cabecera del río Agaunza y el barranco de La Fábrica (Lizarrusti). Adicionalmente, la primera barra Urgoniana captura el drenaje de terrenos impermeables contiguos, situados tanto al N como al S de la barra. El valle seco de Akaitz erreka es seco precisamente por poseer en su fondo 23 simas absorbentes. La barra ha sido adelgazada en varios puntos por la erosión remontante de la cabecera del Agaunza, y presenta importantes sumideros en Baiarrate, Iruerreketa y Maizegi, los cuales capturan parcialmente el drenaje de superficie de los terrenos situados al N de la barra, con lo cual la superficie de cuenca drenada es mayor que la correspondiente sólo a las calizas.



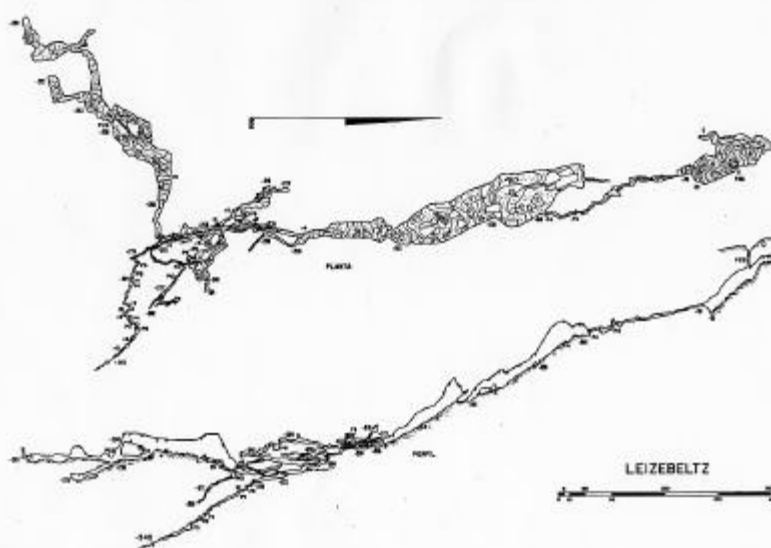
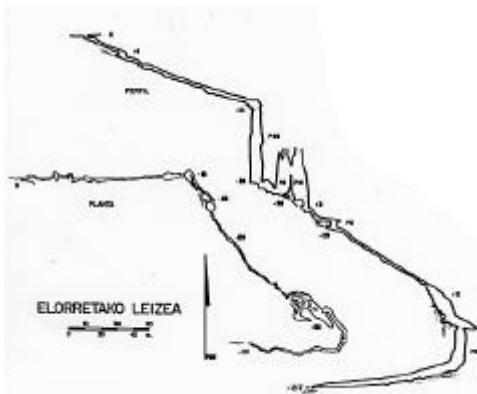
Las exploraciones progresaron de W a E. Las coloraciones efectuadas en la sima-sumidero de Ubei y en Iruerreketa dieron positivo en Aia iturrieta. Luego se obtuvieron resultados positivos entre las simas Ak.15 (en la parte alta del valle de Akaitz erreka), Ormazarreta 1, Ormazarreta 2, y Aia iturrieta; y entre la sima de Pagomari, el sumidero de Desao 1 y el río subterráneo de Ormazarreta 2. Por último, el resultado negativo entre el sumidero de Desao 3 y Ormazarreta 2, permitieron colocar el límite E de la unidad entre los sumideros de Desao 2 y Desao 3. Las simas de Pagomari, Bizkaino y el sumidero de Desao 2 están prácticamente en continuidad topográfica.

Este sistema, que drena la primera barra caliza del Urgoniano Sur, tiene una longitud E-W de 10,4 km y un desnivel de 870 m. Más de 150 cavidades forman parte del sistema, existiendo 8 grandes cavidades que superan los -200 m de desnivel y/o 2 km de desarrollo, 5 de ellas situadas enteramente en Gipuzkoa y 3 en Navarra. El colector principal del sistema (río subterráneo de Ormazarreta 2) se extiende bajo el límite Gipuzkoa-Navarra, pasa bajo la sima Ak.15, vuelve a observarse el flujo subterráneo en el fondo de la sima-sumidero de Ubei y termina por surgir en el manantial de Aia iturrieta (que posee un trop-plein anexo, la surgencia de Ubei zulo, en la cual se escucha la circulación subterránea y es activa en aguas altas). En la cabecera del sistema, los sumideros de Desao y las simas de Pagomari, Bizkaino y Ormazarreta 1 aportan afluentes que emergen en el sifón inicial de Ormazarreta 2. En Gipuzkoa el sistema reúne toda la infiltración de los montes Akaitz, Akaitz txiki, Saastarri, Agaoz y Leizadi, existiendo otros ríos subterráneos afluentes del colector en las simas de Leizebeltz, Elorreta y Agaoz.



La mayor cavidad del sistema es la sima de Ormazarreta 2, de -576 m de desnivel y casi 7 km de desarrollo. La cavidad posee dos bocas (Larretxiki 2 y Ormazarreta 2), próximas al límite interterritorial. Por cualquiera de sus bocas (una de ellas es un sumidero activo) se descienden cerca de 500 m de pozos verticales (con pasos estrechos y meandros de recorrido atlético) para enlazar con el río subterráneo. El río se extiende subhorizontalmente a lo largo de varios kilómetros entre el sifón inicial (en la cota -450) y el sifón terminal (cota -576 m), presentando diversas

dificultades, como grandes barreras de bloques (con galerías superiores), tramos inundados y varias cascadas de difícil superación en la zona terminal. El caudal medio del río colector es de 58 l/s (con temperatura del agua de 5°C), pero responde con gran rapidez a las variaciones pluviométricas y durante las crecidas multiplica con facilidad más de 10 veces su caudal medio. La cavidad fue explorada básicamente entre 1979 y 1984, en salidas sucesivas, debido a la suma de dificultades que presenta la cavidad y a las duras condiciones de exploración, tanto en la zona de verticales como en el río subterráneo. Describir con mayor detalle la cavidad y sus características ocuparía por sí sólo un artículo y ésto escapa del alcance de este texto, pero no podemos dejar de destacar la magnitud, importancia e interés que revistió el



dificultades, como grandes barreras de bloques (con galerías superiores), tramos inundados y varias cascadas de difícil superación en la zona terminal. El caudal medio del río colector es de 58 l/s (con temperatura del agua de 5°C), pero responde con gran rapidez a las variaciones pluviométricas y durante las crecidas multiplica con facilidad más de 10 veces su caudal medio. La cavidad fue explorada básicamente entre 1979 y 1984, en salidas sucesivas, debido a la suma de dificultades que presenta la cavidad y a las duras condiciones de exploración, tanto en la zona de verticales como en el río subterráneo. Describir con mayor detalle la cavidad y sus características ocuparía por sí sólo un artículo y ésto escapa del alcance de este texto, pero no podemos dejar de destacar la magnitud, importancia e interés que revistió el

hallazgo de esta cavidad para comprender el funcionamiento del sistema.

En la proximidad de Ormazarreta 2 se sitúan otras grandes simas, como Ormazarreta 1 (de -402 m) y Bizkaino (-198 m), de trazado relativamente simple, y la sima de Pagomari (de -345 m y 3,3 km de desarrollo), de trazado complejo y laberíntico. Los aportes de agua de estas cavidades van a parar, como ha sido dicho, al colector de Ormazarreta 2.

En territorio guipuzkoano, entre las grandes cavidades destacan: la sima Ak.15 (-208), que como otras del valle de Akaitz erreka se sitúa topográficamente sobre el trayecto del colector; la sima-sumidero de Ubei, en cuyo fondo, a -202 m, es visible otro tramo del flujo subterráneo; las simas de Leizebeltz (-345 m), Elorreta (-217 m) y Agaoz (-210 m), que aportan afluentes menores. Las dos últimas son de trazado simple, mientras Leizebeltz es una cavidad ramificada de 2,5 km cuyas galerías distan escasos 30 metros de la red de 1,2 km de Patatasoo. Ambas cavidades se desarrollan sobre la charnela del anticlinal secundario del domo, mientras Elorreta y Agaoz siguen el buzamiento hacia la charnela del sinclinal de Elorreta. Leizebeltz y Patatasoo poseen algunas galerías correspondientes a un ciclo kárstico anterior, con probable drenaje hacia una zona de surgencia hoy desaparecida, que estaría situada más al W que la actual.

En terrenos paraurgonianos se desarrolla otro sistema acuífero, independiente, el cual es drenado a través de la surgencia de Ur zuloa, de menor caudal. Este sistema captura el drenaje de las calizas margosas de los montes Amilzu, Maomendi, Maltzarreta, Salbi y Malkorburu. Algunas cavidades, como la sima-sumidero de Malozulo, alcanzan -100 m de desnivel. Otras cavidades menores en las lentes de Alleko pikoa (Gipuzkoa-Navarra) y en el paraurgoniano de Aparein y Putxerri (Navarra) forman pequeños acuíferos que drenan hacia surgencias difusas en las cabeceras del Agaunza y Txorrore, a ambos lados del collado de Lizarrusti.

Entre la primera barra y el paraurgoniano, aprovechando la baja permeabilidad de los terrenos, se construyó el embalse de Laredo. Las aguas de Baiarrate, Iruerreketa y Maizegi son desviadas antes de sus respectivos sumideros mediante canalizaciones para alimentar el embalse. Este embalse, situado en la depresión entre los montes Malkorburu y Saastarri, permite almacenar agua para utilizarla en estiaje. Su funcionamiento, en esquema, es el siguiente: durante la mayor parte del año toma agua de las regatas mencionadas para efectuar el llenado del vaso del embalse; en estiaje, según las necesidades, el volumen almacenado es aliviado aprovechando el sistema kárstico de Ormazarreta. En lugar de construir una conducción, las aguas del embalse son evacuadas a través de la sima de Ubei, para que circulen por el colector Ormazarreta - Aia iturrieta, hasta las obras de captación existentes en la surgencia.

URGONIANO DEL DOMO.

El Urganiano del domo de Ataun no es más que la continuación del Urganiano Sur (de su primera barra caliza), al W de Urkillaga. El abombamiento de este "domo" ha sido casi totalmente desmantelado por la erosión normal; el centro del mismo está ocupado por esquistos Aptienses impermeables, sobre los cuales se establecen dos cursos de agua superficiales que lo van vaciando y hacen aflorar los terrenos del Weald, también impermeables. Estos dos arroyos cortan la banda urgoniana en dos puntos, fragmentándola. Como además el buzamiento en el domo es hacia el exterior, la banda de calizas Urganianas se presenta

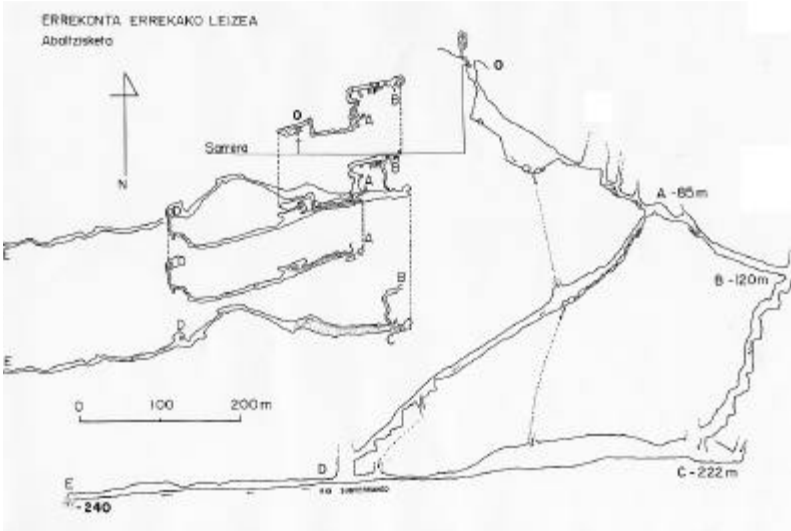


como un cresterío discontinuo fragmentado en pequeños aparatos independientes. La mayor parte de las precipitaciones caídas en esta región circulan superficialmente. En las calizas, la escorrentía es grande y la escasa infiltración da origen a pequeños manantiales distribuidos por todo el perímetro; los caudales de éstos son pequeños, de 1-2 l/s, y ninguno llega a alcanzar los 10 l/s. La mayoría de las cavidades existentes en estas calizas son inactivas en la actualidad, y se presentan fosilizadas por rellenos estalagmíticos y detríticos



que a menudo las colmatan. Se trata de cuevas "fósiles", como las de Troskaeta (de 1.000 m), Antonen koba (de 320 m), y muchas otras, desarrolladas a expensas de planos de estratificación por un ciclo kárstico anterior al actual. Son pues los restos de aparatos kársticos más extensos, correspondientes a una superficie caliza anterior, que ha sido desmantelada por la erosión. En la hidrología kárstica actual la importancia de esta unidad es muy escasa y local, con una excepción que señalamos a continuación.

La prolongación NE de la barra, en la zona de Ausa Gaztelu, origina una pequeña unidad en la cual las aguas atraviesan el monte de E a W. En su cabecera se encuentra la sima-sumidero de Errekonta, de -240 m de desnivel y 1 km de desarrollo, la cual posee un río subterráneo que resulta ser el colector principal de la unidad. Las aguas emergen en la surgencia de Osin beltz. El trayecto entre el sifón terminal de Errekonta y Osin beltz ha sido verificado mediante prueba con trazador.



La pequeña unidad de Errekonta - Osin beltz es independiente de la que hemos denominado Urganiano Norte y se instala sobre la continuación de la primera barra del Urganiano del Domo, pero en realidad queda ya

fuera de lo que es el perímetro geográfico del domo, al E del sinclinal de Elorreta. De igual modo, la primera barra del Urganiano Sur se extiende más al W del sinclinal de Elorreta, hasta el monte Leizadi y el col de Urkillaga, sector éste que contornea por el S la estructura del domo. Así, se trata de denominaciones de conveniencia práctica, no de delimitaciones precisas.

URGANIANO NORTE.

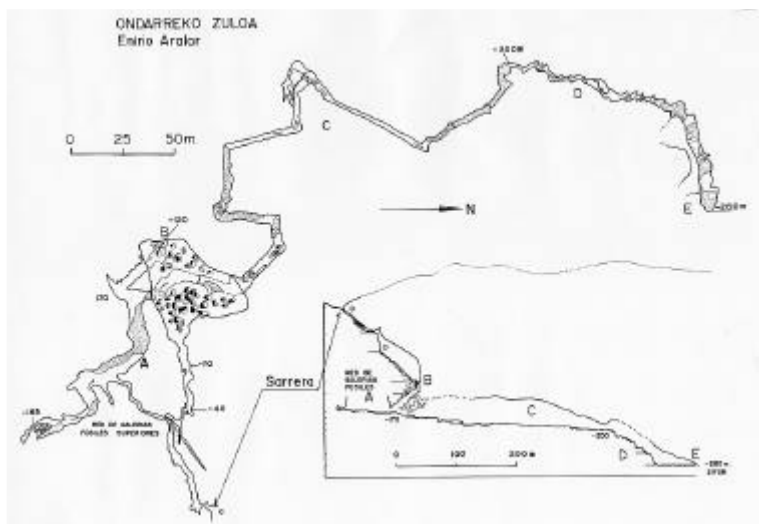
A diferencia de lo que ocurre en el Urganiano Sur, las calizas de esta unidad apenas están cruzadas por fases terrígenas impermeables, y dan origen a un sólo aparato kárstico que reúne la mayor parte de las aguas infiltradas en el Txindoki y sus alrededores. Esta idea se ve comprobada por la salida concentrada de las aguas en el grupo de surgencias de Zazpi-iturrieta, en Amézqueta. La disposición subvertical de los estratos y las fuertes pendientes del flanco N de la sierra han dificultado la karstificación y son pocas las cavidades conocidas en este sector, ninguna de ellas de gran desarrollo. Una prueba de trazado efectuada en Buruntxusin, en el centro-sur de la unidad, dió positivo en Zazpi iturrieta, salvando una distancia de 3 km y un desnivel de 455 m.

JURASICO CENTRAL.

Esta unidad, situada estructuralmente sobre el denominado anticlinal del Txindoki o anticlinal norte (vasta bóveda de calizas Jurásicas y Neocomienses, de ondulación disimétrica), ocupa el macizo de Ganbo, en la parte alta de la sierra. Geográficamente el extenso macizo de Ganbo es un bloque homogéneo, ovoide, deprimido en su centro. Sus límites a W y E lo constituyen los barrancos de Erreka-beltz y Arritzaga, respectivamente. Al N se ve limitado por los niveles de base del frente del cabalgamiento y el Lías medio margo-arcilloso, y al S por las formaciones impermeables del Weald-Aptiense que forman una depresión alargada en Doniturrieta que lo separan de las crestas del Urganiano Sur.

El corazón Jurásico forma una depresión semi-cerrada, Alotza - Arrubi, bordeada por una línea de cumbres y collados cuya alineación toma la forma de una U muy abierta: Kilixketa (1.188 m.snm.), Gañeta (1.321 m), Uarrain (1.351 m), Ganbo (1.415 m), Pardarri (1.397 m) y Uzkuiti (1.334 m). Las calizas afloran en grandes superficies desnudas, muy lenarizadas, sin apenas vegetación, lo que hace que la evapotranspiración sea mínima y la infiltración máxima. Por su disposición estructural la escorrentía es mínima; y por su elevada altitud las precipitaciones son abundantes, en gran parte en forma de nieve. Topográficamente, Alotza y Arrubi son depresiones casi cerradas, mientras que las cumbres que las rodean están ocupadas por lapiaces extensos, acribillados de dolinas y simas (en los flancos Sur, sobre todo). Lo que anuncia la presencia de un karst subyacente bien desarrollado.

El Jurásico guipuzkoano cubre una superficie de 21 km². La mayor parte del terreno es drenada por las surgencias de Osin berde y Bonba txulo, en Zaldibia, con caudales medios estimados en 600 y 120 l/s respectivamente. El colector principal del acuífero de Osin berde ha sido encontrado en la Sima de Ondarre,



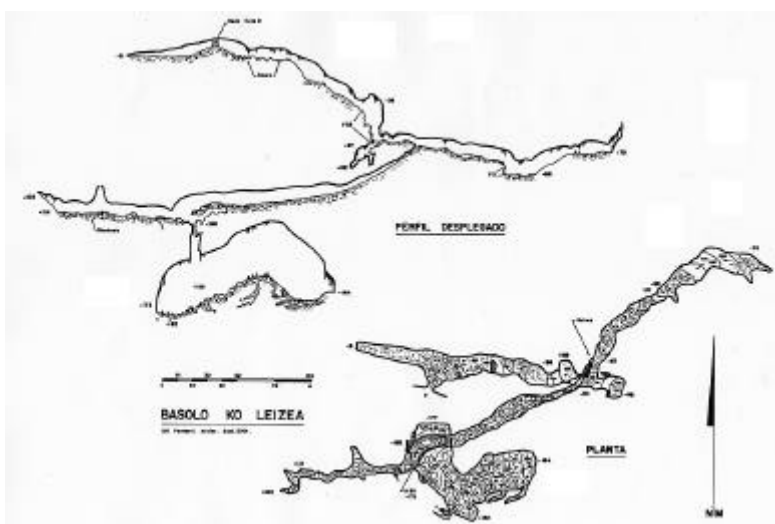
cavidad que totaliza -260 m de desnivel y 3.200 m de desarrollo de galerías. El caudaloso río subterráneo de Ondarre se desarrolla a lo largo de 1 km entre las cotas -170 y -260 m de la sima, donde se alcanza un sifón terminal. La exploración del río de Ondarre, efectuada en la época de la técnica de escalas (1975-77), demandó pasar con bote neumático 17 tramos inundados y luego descender una zona de fuertes cascadas de 60 m de desnivel. Río arriba la cavidad posee una red ramificada de afluentes y galerías que elevan el desarrollo total a más de 3 km. La circulación entre el sifón de Ondarre y la surgencia de

Osin berde ha sido verificada mediante prueba con trazador. La distancia entre ambos puntos es de 1 km y el desnivel de 17 m. Otras pruebas de trazado efectuadas en los sumideros de Alotza y Katxiñe, en el E de la unidad, también han dado positivo en Osin berde, salvando distancias de 5 km y desniveles de 775 m. Por ello es posible afirmar que todo el extenso macizo de Ganbo drena subterráneamente a dicha surgencia. El desnivel potencial que teóricamente se puede alcanzar se aproxima a los -1.000 m y es uno de los más importantes de Gipuzkoa. Sólo un pequeño sector en el flanco N del anticlinal tributa a Bonba txulo (prueba de coloración positiva entre Komonsao y dicha surgencia, salvando 4 km de distancia y 750 m de desnivel). Por

último, existe una surgencia menor, Arkakatziki, que drena una orla de calizas del Pürbeck y techo del Jurásico.

Las surgencias de Osin berde y Bonba txulo, penetrables por buceo, han sido exploradas, salvando sifones de 160 y 120 m de largo y -23 y -19 m de desnivel, respectivamente, para proseguir en galerías aéreas cuya exploración ha sido prontamente detenida por cascadas que requieren escalada. Estos datos, unidos al comportamiento de los manantiales (fuerte oscilación de los caudales y rápido agotamiento) y a las pruebas de bombeo efectuadas en Osin berde, muestran que se trata de acuíferos colgados, con escasas reservas.

Además de la sima de Ondarre, otras grandes cavidades incluidas en esta unidad son las simas de Malkorri y Basolo. La primera de ellas, situada en la parte alta de Uarrain, es una sima de trazado simple que alterna una sucesión de pozos verticales hasta -287 m de desnivel. Basolo por su parte es una cavidad ramificada



situada en el flanco S de Pardarri; alcanza -182 m de desnivel y 880 m de desarrollo, albergando en su fondo una sala de dimensiones gigantescas. Esta cavidad posee varios niveles de galerías subhorizontales que son verdaderos paleocauces, con rellenos sedimentarios correspondientes a sucesivas fases de excavación, anteriores en el tiempo al ciclo actual. El resto de las restantes cavidades (cerca de 200) son predominantemente simas que terminan en obstrucción.



Los datos actuales muestran con seguridad que la mayor parte del Jurásico gipuzkoano drena hacia los citados acuíferos de Osin berde y Bonba txulo, siendo el probable límite E el barranco de Arritzaga. Al E del mismo existe un sector, también fuertemente karstificado, constituido por las cumbres de Beoin, Aldaon, Arbelo, Urkute e Irumugarrieta. Este sector probablemente drena hacia territorio navarro, uniéndose a los karsts superpuestos de la escama y sinclinal central de Aralar, con surgencia en los manantiales de Iribas. Una coloración efectuada en la sima de Arbelo ó Ar.1 dió positivo en el manantial inferior de Iribas 28 días más tarde. Pero subsisten algunas dudas sobre este ensayo, tanto por el bajo caudal del punto de inyección, por la existencia de otros manantiales no controlados en las zonas de Inza, Gainza y Azkárate, así como por la sumaria escasez de datos publicados. Igualmente existen datos de otra coloración dudosa, efectuada en Unako putzua (Navarra), también con surgencia en el manantial inferior de Iribas. Desde luego la barra de calizas Jurásicas se extiende a lo largo de 11 km entre ambas zonas, pero la parte W de la barra está fuertemente deformada por el cizallamiento de Azkárate, y el sector de Inza,

situado bajo las Malloas (y mucho más cercano a Arbelo), está insuficientemente prospectado, por lo que puede haber otras salidas de aguas e intercomunicaciones no conocidas. Nuevos ensayos y una prospección más detallada del flanco N de la sierra sin duda arrojarán más luz sobre este sector.

En todo caso, en dicho sector existen gran número de grandes dolinas y un bajo número de cavidades, destacando entre ellas la sima de Arbelo ó Ar.1. Esta sima presenta una zona de pozos paralelos hasta la cota -230 m, y a partir de este punto varios meandros sumamente estrechos por los que se ha avanzado, arduamente, hasta una cota aproximada de -500 m. La topografía ha sido efectuada hasta la cota -371 m, estimándose con lecturas de altímetro desniveles algo mayores de -500, pero que requieren confirmación topográfica.

SINCLINAL CENTRAL.

Esta unidad se desarrolla enteramente en Navarra, con surgencia en el manantial superior de Iribas, también llamado Aitzarreta o Nacedero del río Larraun (a 630 m de altitud). Las aguas surgen a través de un amplio porche en la base de un farallón calizo y drenan las calizas y margas Urgonianas del sinclinal central. Su límite N es el contacto de la prolongación de la primera barra Urgoniana con las arcillas Aptienses,



mientras que el hipotético límite S corresponde a la estructura cabalgante de Oderiz; al E la zona de fallas de Muguiro y Astiz, de azimut NW-SE, que corta en bisel las dos escamas cabalgantes de la sierra, y al W la zona de Desao 3, que es el límite E del Urgoniano Sur. Esta unidad abarca en consecuencia un área grande del Aralar navarro, extendiéndose desde Astiz y Baraibar, en el E, hasta los montes Txemiñe y Eulatz, al W, y alcanzando por el S desde la zona de Guardetxe hasta Burnigurutze y las proximidades del valle de Ata. En correspondencia, el caudal medio de la surgencia de Aitzarreta es importante, de algo más de 1 m³/s.

Los materiales Urgonianos alternan al menos 5 tramos calcáreos distintos separados por intercalaciones más margosas o arcillosas, con cambios laterales de facies y toda una red de fracturas que intercomunica hidrológicamente el pliegue pero que dificulta la excavación de galerías penetrables. Así, la zona -predominantemente boscosa- posee infinidad de dolinas, uvalas, campos de lapiaz, sumideros y simas. Algunas cavidades se desarrollan a expensas de planos de estratificación y otras aprovechan el diaclasado vertical. No obstante, pocas cavidades alcanzan gran desarrollo o desnivel. Una de las barras calizas más karstificadas es la que sigue la alineación de los montes Txemiñe, Beloki y Amutxate. En esta barra se desarrolla Amutxateko leizea o Cueva de los Osos, recientemente explorada por el Grupo Espeleológico Satorrak, de Pamplona, y notable por albergar un gran yacimiento paleontológico con numerosos restos de *Ursus spelaeus* u oso de las cavernas. La cavidad alcanza -130 m de desnivel. Otras importantes cavidades son Guardetxeko zuloa, que posee 2 km de galerías (y es la cavidad de mayor desarrollo hasta ahora conocida en la unidad), y la sima de Oiarbide 28, de -230 m de desnivel.

JURASICO NORTE.

Al N de la unidad anterior y separada de ella por el Weald-Aptiense impermeable, se encuentra la extensa banda alargada W-E del Jurásico-Pürbeck que forma la llamada "Escama de Aralar" (flanco S del anticlinal cabalgante). La surgencia es el manantial de Iribas inferior, localizado bajo el pueblo de Iribas (a 563 m de altitud), y el más caudaloso de toda la sierra. El agua surge entre grandes bloques y es por ello impracticable.

Las aguas que surgen del Nacedero del Larraun o Aitzarreta, tras un recorrido en superficie de 1 km, vuelven a sumirse al alcanzar el contacto con el Jurásico Norte. De este modo recargan el acuífero inferior, el cual captura no sólo la infiltración de la banda Jurásica, sino también todo el caudal que había emergido del Urgoniano del Sinclinal Central, y, además, el de los terrenos impermeables entre ambos, que ingresan a través de sumideros en las zonas de contacto con el Jurásico N. El caudal medio final en la surgencia de Iribas ha sido estimado entre 2,3 y 2,6 m³/s, y es el más importante de toda la sierra, pero más de 1 m³/sg procede del Nacedero de Aitzarreta.

La circulación en el tramo subterráneo intermedio entre el sumidero del cauce superior del Larraun y la surgencia inferior de Iribas es visible en el profundo lago que existe en la sala final de la Sima de Lezegalde. En épocas de grandes crecidas, sobre todo con la fusión de las nieves en primavera, las aguas del cauce superior rebasan el sumidero, que no puede absorber todo el caudal, y circulan en superficie a través de un pequeño valle (normalmente seco) para ingresar directa y espectacularmente a través de la boca de la Sima de Lezegalde. Esta cavidad, de unos 500 m, es así una ventana abierta para observar el dispositivo de recarga.

Sobre la banda Jurásico-Pürbeck se conoce un bajo número de cavidades, siendo de destacar el reciente descubrimiento y exploración de la sima de Ilobi, explorada por el Grupo Espeleológico de Estella y situada a 1.185 m de altitud y a 8 km de distancia al W de la surgencia. La cavidad alcanza -547 m de desnivel y casi 3 km de desarrollo. Su trazado sigue principalmente el buzamiento S-SW de las capas, alternando un tramo medio tectónico donde aprovecha algunas fallas para profundizar verticalmente. La parte final sigue una galería meandriforme, con un pequeño caudal (8 l/s) y abundantes depósitos arcillosos, la cual termina en sifón impracticable. Se supone que el drenaje final derivará hacia el E, siguiendo el rumbo del pliegue. En sus cercanías se encuentra el sumidero de la depresión de Unako putzua, en cuyo fondo se pierden las aguas superficiales de las campas de Unaga, en el contacto con las calizas Jurásicas. Una coloración efectuada en Unako putzua dió positivo en el manantial de Iribas, pero subsisten algunas dudas sobre si fue debidamente realizado el ensayo. En todo caso, por simple deducción, el elevado caudal de la surgencia inferior de Iribas implica un área de captación extensa, que debe extenderse hasta esta zona, o incluso más al W, hasta el sector Jurásico guipuzkoano de Arbelo.

ANTICLINAL SUR.

El Anticlinal Sur, en territorio navarro, forma un acuífero en materiales Urgonianos cuya surgencia principal se encuentra en Irañeta. Queda separado del Sinclinal Central por los materiales margosos del Jurásico que afloran en la estructura de Odériz y por la continuación hacia el SE de la falla inversa de Astiz. Es un acuífero libre que pasa a ser confinado hacia el S al quedar cubierto el Urgoniano por materiales impermeables



detríticos de su periferia. Drena el acuífero formado por las calizas Urgonianas y parte del Jurásico del borde S de Odériz. La descarga se realiza principalmente por la surgencia de Irañeta (ó Urruntzure, en la cota 474 m de altitud) pero existe también una surgencia menor, Amurgin (en Huarte Araquil), y otras surgencias intermitentes que se activan en aguas altas. Una pequeña subunidad o acuífero independiente correspondería a una surgencia menor situada en Lizarrusti, al pie del Putxerri.

Los sondeos efectuados en los acuíferos de Irañeta y Lizarrusti han mostrado una karstificación escasa y muy localizada. Parece ser que las calizas Urgonianas del

borde S de la sierra, además de alternar bandas margosas de baja permeabilidad, resultan ser muy compactas y poco fisuradas, salvo superficialmente.

Aunque se conoce cierto número de cavidades en las distintas barras de calizas compactas, casi todas ellas son de moderadas dimensiones. No obstante muchas de ellas han aportado interesantes hallazgos bioespeleológicos e incluso antropológicos. Así p.ej. la sima de Basaletz alberga restos humanos de época prehistórica, y varias cavidades del Putxerri se revelaron muy ricas en fauna cavernícola.

ACUIFERO DE LATASA.

Ocupa la terminación oriental de la sierra, al E de la gran falla inversa de Astiz. Está formado por las calizas Urgonianas y Jurásicas, que se encuentran en posición invertida y con una alineación NW-SE. Descarga en forma difusa hacia el cauce del río Larraun, en el tramo comprendido entre Latasa e Irurzun. Se estima que drena un volumen subterráneo de entre 0,35 y 0,53 m³/s, aunque es difícil evaluar que parte corresponde verdaderamente a flujos subterráneos y cuál a pérdidas por escorrentía superficial que van a parar directamente al cauce.



En la unidad, poco prospectada, se conocen pocas cavidades, de modestas dimensiones. La zona entre Goldaraz y el paso de las Dos

Hermanas en Irurzun posee pendientes muy fuertes y abruptas hacia el valle del Larraun, las cuales no han sido reconocidas en detalle. La subhorizontalidad del Larraun, que constituye el nivel de base para el drenaje subterráneo, parece ser determinante para que no se produzca una salida concentrada de las aguas en una única surgencia, sino más bien múltiples surgencias difusas a lo largo del afloramiento, con intercambios complejos entre el río y la zona saturada del acuífero. Es probable en consecuencia que los tramos calcáreos más karstificados alberguen múltiples aparatos kársticos.

GEOMETRIA DEL KARST, INCOGNITAS Y POTENCIAL FUTURO.

La litología, estructura, relieve y posición de las surgencias, comanda las direcciones preferenciales del drenaje subterráneo. Los sondeos que efectúan los hidrogeólogos son en cierto modo “ventanas” que permiten observar la zona inundada y así entender algunos aspectos de la karstificación que está teniendo lugar en profundidad y del funcionamiento de los acuíferos. Los espeleólogos, al descender simas y cuevas a -500 m de desnivel y recorrer redes de galerías de varios kilómetros de desarrollo, cuentan también con múltiples “ventanas” para observar el volumen del karst en la zona vadosa. A veces se accede a parte del drenaje o incluso a importantes colectores subterráneos. En ambos casos se obtiene una visión tridimensional del volumen del karst, con detalles no siempre coincidentes con las hipótesis derivadas de los estudios geológicos de superficie. La observación del karst en profundidad muchas veces resuelve incógnitas pero también lleva a plantear nuevas preguntas.

La geometría del karst, la comprensión de su volumen, normalmente interesa mucho a los geoespeleólogos e involucra temas que revisten un interés menor para los técnicos aplicados al aprovechamiento de aguas. Los estudios geo e hidroquímicos pueden aclarar aspectos como el tiempo de residencia de las aguas en los acuíferos y su influencia en la respuesta de los manantiales. Pero la espeleogénesis normalmente involucra o se instala sobre rasgos heredados de ciclos pasados, donde el drenaje actual es sólo un aspecto del laberinto tridimensional que resulta ser el karst. Me centraré a continuación en esos aspectos que apasionan y despiertan la imaginación de todos aquellos que exploran el mundo subterráneo.

Aunque actualmente conocemos mucho sobre el karst de Aralar, no son menos las incógnitas irresueltas. El primer hecho que llama la atención es el dispositivo del drenaje actual, pacientemente develado. Los terrenos impermeables separan las calizas Jurásicas de las Urgonianas, pero a lo largo de los afloramientos karstificados de estas rocas los límites de las distintas unidades son en gran parte impuestos por la geometría

del karst y de los acuíferos.

Para el karst Jurásico de Aralar, los puntos de salida del agua se sitúan a 563 m de altitud en la surgencia inferior de Iribas, al E, y a 475 y 435 m de altitud en Osin berde y Bonba txulo, respectivamente, al W. ¿Por qué no sale el agua sólo por el punto más bajo? Obviamente existe una divisoria de las aguas subterráneas condicionada por la estructura longitudinal del anticlinal N y por las cotas que alcanza subterráneamente el impermeable basal, en esta caso el Lías medio calizo-arcilloso, poco permeable. La pendiente axial (pendiente del eje del pliegue) desciende a E y W (con un abombamiento en la zona del domo de Ataun, antes del cierre periclinal). Su parte más elevada parece estar entre Arritzaga e Irumugarrieta. De Arritzaga hacia el W no existen dudas del drenaje de todo el macizo de Ganbo hacia Osin berde y Bonba txulo. Lo mismo parece ser cierto desde Irumugarrieta hacia el E. En el barranco de Arritzaga aflora en parte el Lías medio y ésta pareciera ser la divisoria más probable.

Pero si observamos lo que ocurre en la primera barra del Urganiano Sur, apreciamos un decalaje de 1,5 km. La zona límite de divisoria de cuencas se encuentra entre Desao 2 y Desao 3, aproximadamente 1,5 km al E del meridiano de Arritzaga. Desde Desao 3 el drenaje del Urganiano del Sinclinal Central se dirige al E hacia el Nacedero del Larraun, a 630 m de altitud. Mientras que desde Desao 2 el Sistema Ormazarreta drena hacia la surgencia de Aia iturrieta, al W, a 435 m de altitud.

Este decalaje ¿obedece a un cambio en la geometría del pliegue? ¿Puede el impermeable basal, en ambos casos, tener su punto más elevado a diferente altitud? ¿Qué explicación plausible puede ofrecerse?

Nosotros proponemos una doble explicación. En primer lugar es necesario establecer lo que no ocurre. Las fracturas (sean fallas o diaclasas) no constituyen un obstáculo para el paso de las aguas. Antes bien, normalmente facilitan la infiltración.

En el Urganiano Sur las fallas no impiden el paso de la circulación entre Ormazarreta y Aia iturrieta; sobre



ellas se instalan incluso importantes sumideros: Baiarrate, Iruerreketa y Maizegi. El Jurásico Central muestra, sobre todo en el flanco S, un extenso dispositivo de fallas paralelas SW-NE, que fragmentan las calizas en bloques, retraídos de W a E según un dispositivo en corredera. Pero el agua pasa a través de ellas. Sí es cierto que el desplazamiento puede poner en contacto a uno y otro lado de la falla términos distintos de la serie caliza, lo que unido a las deformaciones en torno

a la zona de falla, incrementa la fisuración en forma compleja y a menudo resulta un obstáculo no para el paso del agua pero sí para la continuidad de grandes galerías. P.ej. el río subterráneo de Ondarre está limitado a un bloque. Lo importante a retener es que si la fisuración está muy acentuada, el paso del agua por muchos puntos a la vez, dificulta la creación de un gran dren, caverna o conducto único.

Por otro lado, la fisuración adquiere importancia si el agua consigue circular a través de ella, disolviendo la roca y ampliando los vacíos. En la zona profunda del karst la roca caliza puede mostrarse muy compacta, con su fisuración poco o nada ampliadas, y por tanto puede revelarse muy poco permeable por estar precisamente poco karstificada. Así, la base de las circulaciones hídricas, a medida que nos alejamos de la zona de surgencia, puede estar muy por encima del límite teórico que sería la zona litológicamente impermeable. Por ello se dice que el nivel piezométrico en el karst es virtual. De modo inverso, las líneas de corriente se pueden hundir profundamente en la zona inundada si la diferencia de potencial hidráulico es grande y ha permitido disolver la roca por debajo de dicho nivel (lo que de hecho ocurre en muchos otros karsts del mundo).

Todo ello permite que en la zona profunda, a medida que avanza la karstificación, ésta se extienda a volúmenes progresivamente mayores de roca (GALAN, 1991). Y por ello pueden producirse fenómenos de captura por erosión remontante dentro del karst, de modo bastante parecido a lo que ocurre en la erosión de superficie cuando una vertiente es erosionada más considerablemente que otra. Esto ha sido postulado para la cabecera del sistema Ormazarreta (UGARTE, 1986) y nosotros compartimos esta apreciación. Según dicho autor, la red de la cabecera de Ormazarreta en el ciclo actual, parece avanzar hacia el E, capturando zonas de drenaje que correspondían a la cuenca del Ebro. En ello probablemente intervenga la pobre conexión hidráulica en el karst del Sinclinal Central, donde las intercalaciones arcillosas dificultan la circulación hacia la surgencia del Nacadero del Larraun. Obsérvese también que en este caso las fallas y fisuras facilitan la comunicación entre barras paralelas, separadas por tramos arcillosos, que serían difícilmente permeables de no existir tales accidentes tectónicos.



En el karst Jurásico Central se observa un desmantelamiento intenso del tramo más superficial. Numerosas formas (neveros-simas, redes cutáneas) son indicativas de procesos de erosión y desmantelamiento superficial de origen nivo-glacial (UGARTE, 1986), asociados a ciclos anteriores. Ello ha rebajado el terreno durante los episodios glaciares a lo largo del Pleistoceno (GALAN & ZUBIRIA, 2002), haciendo aflorar en mayor extensión el Lías medio en la parte alta. Durante los interglaciares ha predominado la karstificación en profundidad, hundiendo el drenaje subterráneo hasta llegar a la situación actual. El sector alto entre Arritzaga e Irumugarrieta probablemente esté siendo capturado por el acuífero del Jurásico Norte, hacia el W, en forma inversa a la divisoria Urganiana.

De todos modos, para el sector Beoin - Arbelo, quedan abiertas otras posibilidades, ya que toda la zona está muy torturada tectónicamente por el cizallamiento de Azkárate y parte del drenaje del sector puede escapar hacia la zona surgente de Inza - Gainza, aprovechando discontinuidades tectónicas que permitan la comunicación hídrica con las surgencias. En el talud de las Malloas existen isleos tectónicos Urganianos, sobrecorridos hacia el N, y los coluviones del talud dificultan distinguir los rasgos subyacentes. Es en consecuencia una zona compleja que aún no ha develado todos sus secretos.

Otra pregunta que no puede dejar de hacerse todo observador curioso es: ¿Por qué dos surgencias, tan próximas una de otra, para el Jurásico Central? ¿Por qué no emerge toda el agua del macizo de Ganbo en la surgencia más baja? Aunque Bonba txulo drena preferentemente el flanco N y Osin berde el extenso flanco S del anticlinal, la charnela del pliegue no parece ser un factor que imponga un límite, antes bien, podría facilitar la concentración de las aguas. De igual modo la fracturación del sector no parece crear límites para la circulación. Si se observa en detalle la geología del sector, ambas surgencias están instaladas sobre el flanco N, en el mismo cierre

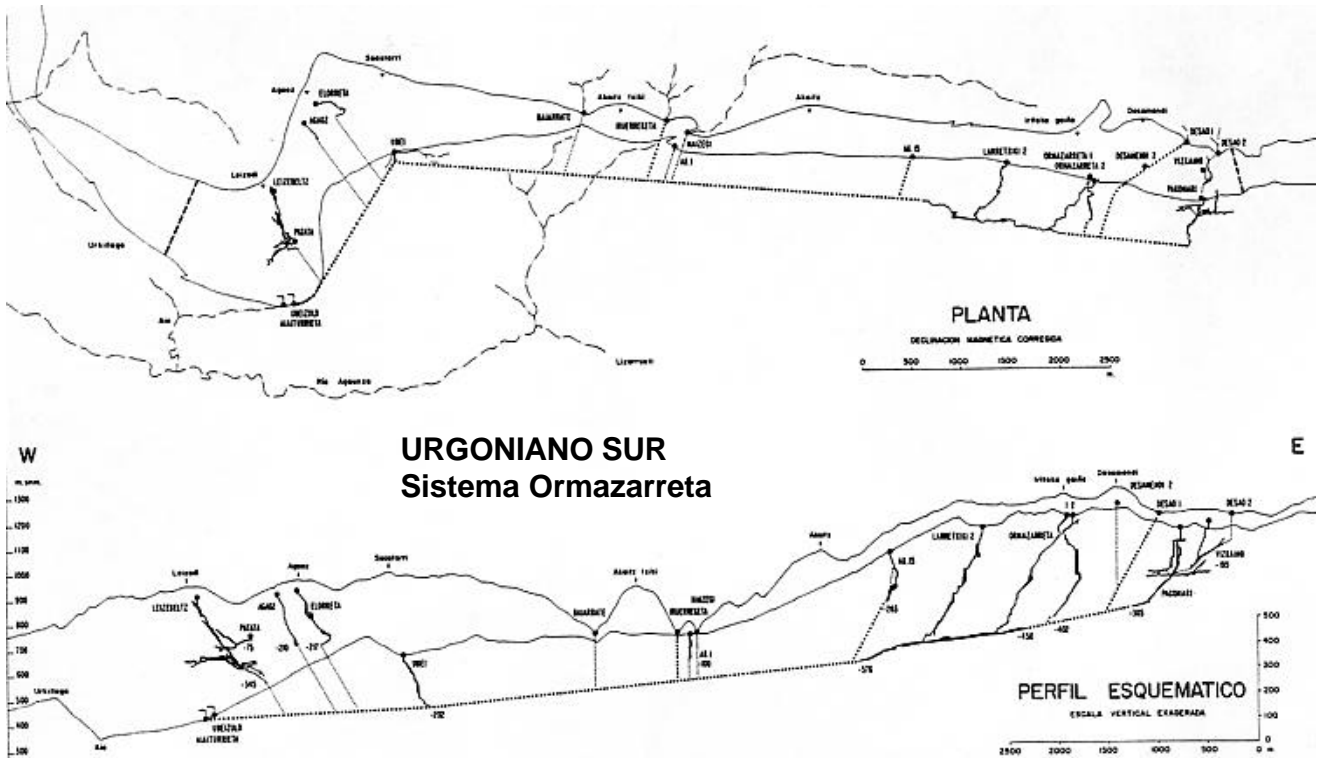
periclinal, y en el mismo término de la serie geológica. La explicación probablemente resida en que al progresar el desmantelamiento superficial y avanzar la erosión normal, se encajó el barranco de Erreka beltz, y generó las dos ramas superficiales que interceptan la franja calcárea en dos puntos, generando las dos surgencias actuales. Las exploraciones post-sifón muestran que enseguida se accede a la base de cascadas, lo que sugiere un joven hundimiento terminal de la zona de surgencia. Muy probablemente, en ciclos pasados, la zona de surgencia tendría un punto de salida único, algo más alto que los actuales y correspondiente a una antigua superficie hoy desaparecida.

El Urganiano Sur genera preguntas similares. ¿Por qué la instalación de la surgencia del sistema Ormazarreta en Aia iturrieta, a 435 m de altitud, cuando la primera barra se prolonga mucho más hacia el W, hasta cotas de borde más bajas (300 m de altitud donde el arroyo Remedios corta la barra)? Sin duda ello obedece al desmantelamiento del domo, hoy con un endokarst "fósil", sin relación con el nivel hidrodinámico actual, y a la erosión remontante experimentada por la regata de Maturmendi, afluente del río Agaunza. Esta ha recortado la joven superficie del barranco interceptando el flujo subterráneo. El trop plein anexo de Ubei

zulo, surgente en aguas altas, tiene unas características que sugieren que no existe una zona inundada en el acuífero actual. Redes complejas en el dorso de cuesta, como Leizebeltz y Patatasoo, eran en ciclos pasados afluentes cataclinales conectados al colector ortoclinal, tal vez en posición análoga a la que hoy ocupan las simas de Ormazarreta-Larretxiki (UGARTE, 1986). Ellas muestran evidencias de sucesivos hundimientos del drenaje colector hasta su posición actual. De modo parecido, en Navarra, la surgencia principal del Anticlinal Sur en Irañeta ha dejado relieves "fósiles" como la barra que forma la cresta de Madelen aitz, por erosión remontante del barranco de Urruntzure.



La delimitación precisa de unidades en el Aralar navarro requiere investigación adicional. Particularmente sería deseable la realización de ensayos con trazadores en las zonas límite, para comprobar efectivamente las trayectorias subterráneas. La existencia de barras paralelas E-W, tanto en el Sinclinal central como en el Anticlinal Sur, dificulta la espeleogénesis de colectores únicos, pero podrían desarrollarse ríos subterráneos en paralelo, siguiendo las barras principales.



Desde un punto de vista espeleogenético, los cambios laterales (y verticales) de facies en el interior del Urgoniano parecen ser la causa principal de que el desarrollo lateral de las cavernas se vea interrumpido. La caverna más extensa hasta ahora conocida es Ormazarreta 2. La sección típica del río subterráneo es en "ojo de cerradura", con un amplio conducto superior a 40 m de altura sobre el encajado cauce activo. ¿Por qué finaliza bruscamente esta galería? El sifón terminal es un sifón colgado, que podría generarse al descender el drenaje actual a un nivel más bajo, sin haber tenido tiempo aún para disolver y ampliar su diámetro. Pero la terminación abrupta del conducto superior sugiere más bien que un cambio lateral de facies dificulta y complica la espeleogénesis, aunque no impide el paso del agua.

En las calizas Jurásicas es frecuente que las cavidades lineares (simas monopozo, pozos escalonados, pequeños meandros) sigan la fisuración vertical en las calizas más compactas, mientras que a expensas de los tramos más margosos o arenosos se generan grandes salas (Ondarre, Basolo). Los derrumbes o colapsos de bloques también tienden a obstruir las continuaciones, aunque las aguas atraviesen el obstáculo.

En todo caso, siempre resulta más fácil encontrar las causas o factores que actuaron en la formación de las cavidades conocidas, que predecir las posibilidades de cavernamiento en el endokarst. El karst de Aralar encierra aún un gran potencial, que las exploraciones futuras irán poniendo al descubierto.

Muchos sectores del Aralar navarro están poco prospectados, o poco sistemáticamente prospectados. La terminación oriental y el flanco N de las Malloas apenas han sido reconocidos y pueden dar lugar a nuevos hallazgos. Lo mismo puede decirse de las posibilidades del espeleobuceo en surgencias como Aitzarreta.

El conocimiento espeleológico ha sido producto de una cadena sucesiva de esfuerzos exploratorios. Aralar en los años 1950 y 60 era todo un enigma. Y un desafío. No existían pistas de acceso y los espeleólogos subían a pié, cargados de escalas y equipos, para explorar las innumerables simas. Hoy, el acceso en vehículo resulta fácil y la técnica de jumars ha aligerado las exploraciones. Un gran potencial se encierra aún en las zonas poco prospectadas. Y en la re-exploración de redes antiguas. La revisión (o desobstrucción) de pasos estrechos, ventanas de pozos, o la escalada de galerías colgadas, que seguramente pasaron desapercibidas a los primeros exploradores, puede permitir hallar continuaciones y duplicar los desarrollos conocidos. Así lo ha demostrado el sucesivo descubrimiento de simas y galerías, incluso en cavidades que se suponía totalmente conocidas. Tal vez dentro de un par de décadas este texto haya quedado del todo anticuado.

Desde estas líneas esperamos haber despertado el interés del lector por el mundo subterráneo de Aralar y el entusiasmo de los espeleólogos para proseguir develando los secretos que encierra.

ILUSTRACIONES.

CASTIELLA et al., 1982 (pp 6), Francisco ETXEBERRIA (pp 1, 10, 14, 15, 16, 25), Carlos GALAN (pp 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 18, 24), Imanol GOIKOETXEA (pp 12, 17), Rafa ZUBIRIA (pp 4, 19, 20, 21, 22, 23). Planos de cavidades: Departamento de Espeleología Sociedad de Ciencias Aranzadi & GALAN, 1989 .

BIBLIOGRAFIA.

- BAKALOWICZ, M. 1986. De l'Hydrogeologie en Karstologie. *Jornadas Karst en Euskadi*. Tomo 2, Com., 105-129. San Sebastián.
- BAKALOWICZ, M. & A. MANGIN. 1980. L'acuífère karstique: sa definition, ses caractéristiques et son identification. *Mem.h.ser.Soc.Geol.Fr.*, 11: 71-79.
- BERUETE, E.; J. ARBEA & R. JORDANA. 1994. Contribución al conocimiento de las especies de *Onychiurus* del Grupo *O.minutus* (Collembola, Onychiuridae). *Publ.Biol.Univ.Navarra, Serie Zoológica*, 24: 19-38.
- BOILLOT, G. & J. MALOD. 1988. The north and north-west spanish continental margin: a review. *Rev.Soc.Geol.España* 1: 295-316.
- CASTIELLA, J.; J. SOLE; S. NIÑEROLA & A. OTAMENDI. 1982. *Las Aguas Subterráneas en Navarra*. Proyecto Hidrogeológico. Dip.For.Navarra, Dir.Obras Públicas, Serv.Geol., Pamplona, 229 pp.
- DUVERNOIS, C.; M. FLOQUET & B. HUMBEL. 1972. *La Sierra d'Aralar. Stratigraphie. Structure. Cartographie au 1/25.000*. 264 p. Tesis doctoral. Univ. Dijon. 2 Tomos. Mapa geológico 1:25.000.
- ERASO, A. 1961. Sima de Ormazarreta (Aralar). *Publ.Inst.Príncipe de Viana*, 84-85.
- ESPAÑOL, F. et al. 1980. Contribución al conocimiento de la fauna cavernícola del País Vasco. *Kobie*, 10: 525-568-
- ETXEBERRIA, F.; J. ASTIGARRAGA; C. GALAN & R. ZUBIRIA. 1980. Estudio de zonas kársticas de Guipúzcoa: el Urganiano Sur de la Sierra de Aralar. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 32(3-4): 207-256.
- ETXEBERRIA, F. et al. 1982. Estudio de zonas kársticas de Guipúzcoa: el Urganiano de Ausa Gaztelu. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 34(4): 271-287.
- ECORS Pyrenees Team. 1988. The Ecors deep reflection seismic survey across the Pyrenees. *Nature*, 331: 508-511.
- EVE. Ente Vasco de la Energía. 1992. Mapa Geológico del País Vasco. Hojas 114-I, Ataun y 89-III, Ordizia. Escala 1:25.000.
- FLOQUET, M. & B. MATHEY, 1984. Evolution sédimentologique, paléogéographique et structurale des marges ibérique et européenne dans les régions basco-cantabrique et nord-ibérique au Crétacé moyen et supérieur. *Act. Lab. Sédim. Paléont. Univ. Sabatier*, 1: 129-136.
- FLOQUET, M.; DUVERNOIS, C. & B. HUMBEL. 1977. La Sierra de Aralar: Le support sédimentaire et l'architecture dans les paysages. *Munibe*, 24: 167-194. San Sebastián.
- GALAN, C. 1978. El río subterráneo de Ondarre y la karstificación en la Sierra de Aralar. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 30(4): 257-283. (Aparece como anónimo).

- GALAN, C. 1988. Zonas kársticas de Guipúzcoa: Los grandes sistemas subterráneos. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 40:73-89.
- GALAN, C. 1989. Estudio hidrogeológico del sistema kárstico de Ormazarreta (Sierra de Aralar). *Príncipe de Viana (Supl.Ciencias)*, Gob.Navarra, Dpto. Educación y Cultura, IX(9): 5-42.
- GALAN, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe (Cienc. Nat.)*, 43: 43-72.
- GALAN, C. 1993. Fauna hipógea de Gipuzkoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe (Cienc.Nat.)*, S.C.Aranzadi, 45: 1-163 (Número Monográfico).
- GALAN, C. 1993. Estudio de la fauna cavernícola de la Sierra de Aralar (Cavernicolous fauna from Aralar Mountains). Trabajo realizado para el Gobierno de Navarra, Dpto. Obras Hidráulicas, Pamplona, Inf. ind. 33 pp.
- GALAN, C. 1997. Fauna de Quirópteros del País Vasco. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C. Aranzadi, 49: 77-100.
- GALAN, C. 1999. Comparación entre la Fauna Cavernícola de regiones Templadas y Tropicales (con especial énfasis en la fauna de Navarra y fauna Neotropical): Un nuevo modelo sobre la Ecología y Evolución de los animales cavernícolas. Trabajo realizado para el Gobierno de Navarra, Dpto. Obras Públicas, Pamplona, Inf. ind. 25 pp.
- GALAN, C. 2002. Presencia de herpetofauna en cuevas de Gipuzkoa: su papel trófico y algunos datos cuantitativos. *Página web SCA*. Archivo PDF: 8 pp.
- GALAN, C. & F. ETXEBERRIA. 1994. *Karsts y cavernas de Gipuzkoa*. Colección BERTAN, Dpto. Cultura, D.F. Gipuzkoa (Ed.Euskera + Inglés-Francés-Español). (6): 72 pp + 30 pp. 160 Ilustr.color.
- GALAN, C. & R. ZUBIRIA. 2002. Basoloko leizea: nuevos datos para interpretar la evolución del karst Jurásico Central de la Sierra de Aralar (Gipuzkoa). *Página web SCA*. Archivo PDF: 9 pp.
- GALAN, C.; GOIKOETXEA, I. & R. ZUBIRIA. 2002. Catálogo Espeleológico de Gipuzkoa - Archivos S.C.Aranzadi: Una base de datos sobre 1800 cavidades naturales y un análisis de su distribución geográfica, dimensiones e información aplicada. *Página web SCA*, Archivo PDF 20 pp + Base de Datos y Listado 48 pp.
- GOIKOETXEA, I. & K. SANSINENEA. 1982. El río subterráneo de Ormazarreta. *Príncipe de Viana (Supl.Ciencias)*, 2: 443-456.
- HERMOSO DE MENDOZA, V. et al. 2001. Amutxate'ko leizea, la Cueva de los Osos de Aralar (Navarra). *Karaitza*, 10: 3-13.
- JORDANA, R. & E. BERUETE. 1983. Cavernicolous Collembola from karst caves in the west of Navarra (spain). *Bull. Soc. Entomol. Suisse*, 56: 303-315.
- LANA, R. & GEE/LET. 1997. Ilobi, una puerta hacia la cabecera del río Larraun. *Karaitza*, 6: 45-53.
- MAIRE, R.; Y. QUINIF; M. DOUAT & J. BAUER. 1989. Le long labeur du temps: esquisse de l'histoire géologique de la Pierre Saint Martin. *Bol. ARSIP*, 16: 19-41.
- MANTECA, J. et al. 1997. La línea divisoria entre las cuencas Cantábrica - Mediterránea en la Sierra de Aralar. *Karaitza*, 6: 34-44.
- MEGIAS, A. 1988. La tectónica pirenaica en relación con la evolución alpina del margen noribérico. *Rev.Soc.Geol. España*, 1: 365-372.
- NOTENBOOM, J. 1986. The species of the genus *Pseudoniphargus* Chevreux, 1901 (Amphipoda) from Northern Spain. *Bijdr. Dierk.*, 56(1): 75-122.
- RAT, P. & M. FLOQUET. 1975. Un exemple d'interrelation entre socle, paleogéographie et structure dans l'arc pyrénéen basque: la sierra de Aralar. *Rev.Geo.Phys. et Géol.Dynam.*, 17(5): 497-512.
- RAT, P. et al. 1983. Vue sur le Cretacé basco-cantabrique et nord-ibérique. *Mém.Géol.Univ.Dijon, Inst.Scienc.Terre*, 9: 1-191.
- ROBLES, S.; V. PUJALTE & J. GARCIA MONDEJAR. 1988. Evolución de los sistemas sedimentarios del margen continental cantábrico durante el Albiense y el Cenomaniense, en la transversal del litoral vizcaíno. *Rev. Soc. Geol. España*, 1: 409-441.
- RUIZ DE ARCAUTE, F. & J. MARTINEZ PEÑUELA. 1958. Simas del Roble y Lezegalde. *Publ.Inst.Príncipe de Viana*, Pamplona, 20 pp.
- SANTESTEBAN, I. 1976. *20 años de Espeleología Navarra, 1953-1974*. Grupo Espeleológico Príncipe de Viana, Pamplona.
- SANTESTEBAN, I. 1980. *Catálogo Espeleológico de Navarra*. Grupo Espeleológico Príncipe de Viana, Pamplona.
- UGARTE, F. 1986. Les cavités de la Sierra d'Aralar (Pays Basque espagnol). *Karstologia*, 8: 17-26. (Resumen de la Thèse de 3e cycle, inédita, de UGARTE, F. 1985: Recherches géomorphologiques dans le karst d'Aralar-mendi (Guipuzcoa-Navarra, Pays Basque). *Inst.Geo.Aix*, 2 vol., 422 pp.).