



Màster Oficial
Aigua. Anàlisi Interdisciplinari i Gestió Sostenible
Universitat de Barcelona
Treball d'Investigació
Curs 2010/2011

**CARACTERITZACIÓ DELS RECURSOS GEOTÈRMICS DE
CATALUNYA. L'EXEMPLE DE LES AIGÜES TERMALS DEL
PIRINEU CATALÀ**

Alumne: Cristina Pesado Pons
Treball dirigit per: Josep Maria Carmona
Departament de Geoquímica, Petrologia i
Prospecció Geològica

Barcelona, 20 de juny de 2011

ÍNDEX

1. RESUM.....	3
2. OBJECTIUS.....	5
3. INTRODUCCIÓ.....	6
4. ENERGÍA GEOTÈRMICA.....	7
4.1 L'energia geotèrmica.....	7
4.2 Jaciments geotèrmics.....	9
4.2.1 <u>Jaciments geotèrmics d'alta temperatura</u>	9
4.2.2 <u>Jaciments geotèrmics de baixa temperatura</u>	10
4.2.3 <u>Jaciments de roca calenta i seca i sistemes geotèrmics estimulats</u>	11
4.3 Aplicacions actuals de l'energia geotèrmica.....	12
4.4 Geotèrmia al món.....	15
4.4.1 <u>Producció d'electricitat (Geotèrmia d'alta temperatura)</u>	15
4.4.2 <u>Utilització directa de la calor (Geotèrmia de baixa temperatura)</u>	17
4.4.3 <u>Energia dels aqüífers (Geotèrmia de molt baixa temperatura)</u>	18
4.5 Geotèrmia a Espanya.....	20
4.5.1 <u>Selecció de les diferents àrees d'Espanya</u>	21
5. ESTRUCTURA DE FLUX DE CALOR EN EL NE DE LA PENÍNSULA IBÈRICA.....	23
6. CONTEXTUALITZACIÓ EN LÀMBIT ESPECÍFIC DE LA UNITAT MORFOESTRUCTURAL DELS PIRINEUS.....	29
6.1 Descripció geològica de les zones de surgència del Pirineu.....	31
6.1.1 <u>Pirineu Occidental Català</u>	31
6.1.2 <u>Pirineu Central Català</u>	37
6.1.3 <u>Pirineu Oriental Català</u>	47
6.2 Característiques químiques de les aigües termals del Pirineu.....	51
7. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	55
8. CONCLUSIONS.....	59
9. ANNEX 1.....	61
10. BIBLIOGRAFIA.....	95

1. RESUM

L'energia geotèrmica és la calor interna de la Terra. La temperatura augmenta amb la profunditat generant un gradient tèrmic i, per tant, un flux de calor cap a l'exterior. En determinades zones de la Terra aquest flux de calor es anormalment elevat (existència de formació de serralades, activitat volcànica, etc.). En aquestes zones amb flux de calor elevat podem trobar jaciments geotèrmics d'alta temperatura. Per altra banda, la resta de zones de l'escorça presenten un flux geotèrmic més baix amb possibilitats de trobar jaciments geotèrmics de baixa temperatura. Per a què aquests recursos geotèrmics puguin ser explotats han de reunir-se unes determinades condicions geològiques i econòmiques necessàries.

L'energia geotèrmica pot ser aplicada en diferents àmbits depenent del contingut de calor del fluid geotèrmic. A molt baixes temperatures pot ser utilitzada per a calefacció per a habitatges, a baixa temperatura pot ser utilitzada en els habitatges, oci o salut, per agricultura i en alguns processos industrials. I finalment a temperatures elevades s'utilitzarà per a les esmentades anteriorment i per a tot tipus de procés industrial.

Existeix una evolució en la utilització d'aquesta energia al llarg dels anys, però no és a fins partir dels anys 60 en què es dona un augment en la utilització d'aquest recurs.

En el cas d'Espanya, la investigació d'aquest tipus de recurs comença en la dècada dels 70 on es du a terme un reconeixement general, geològic i geoquímic dels indicis termals de la Península. La majoria d'àrees geotèrmiques que es troben són de baixa temperatura, amb algunes zones concretes de temperatura mitjana. Aquests recursos són explotats parcialment en l'actualitat i en petita intensitat.

Per valorar els recursos geotèrmics a Catalunya es calcula el flux de calor a partir de la conductivitat tèrmica i el gradient geotèrmic. Aquest flux augmenta dels Pirineus a la costa amb la presència de dues anomalies, una de positiva situada en el Vallès Oriental provocada per la infiltració lenta i descàrrega ràpida de l'aigua per les falles, i una anomalia negativa situada en la desembocadura de l'Ebre causada per infiltració de l'aigua que refreda les aigües termals. En el Pirineu les manifestacions termals es situen en tres nuclis, el Pirineu

occidental, el Pirineu central i el Pirineu oriental. En els tres casos es troben associades als diferents massissos granítics fracturats, per on ascendeixen les aigües termals fins la superfície donant diferents composicions químiques depenent dels materials que travessen.

Finalment destacar que es tracta d'una energia ecològica, il·limitada i en el cas de Catalunya poc utilitzada. Pot existir una contaminació tèrmica si no s'efectua una bona gestió dels residus i es pot donar l'emissió d'àcid sulfhídric, que en ocasions pot ser letal. Destacar que es tracta d'una energia que pot trobar-se en moltes regions de la Terra facilitant el seu transport i per tant evitant la dependència energètica exterior.

2. OBJECTIUS

L'objectiu del treball és introduir el concepte d'energia geotèrmica per poder analitzar posteriorment els recursos geotèrmics que disposem a Catalunya, i, en concret, en els Pirineus.

Primerament s'avaluarà la importància de la geotèrmia al món i a continuació les àrees geotèrmiques de major interès d'Espanya per a centrar-nos finalment en les àrees geotèrmiques del Pirineu català.

A posteriori s'estudiaran les diferents fonts que trobem en el Pirineu, concretament la situació de les mateixes, els materials i les característiques estructurals de la zona, el tipus de surgència i d'aigües termals a partir de les anàlisis químiques realitzades per Beltran (1973).

La finalitat d'aquest treball és arribar a avaluar el recurs dels que disposem, les possibles aplicacions i usos i valorar la importància que pot arribar a tenir la presència i utilització d'aquest tipus d'energia geotèrmica en un futur.

Es tracta d'un treball bibliogràfic, cal destacar que a Catalunya no s'han realitzat estudis a fons d'aquest recurs i que bàsicament ens centrem en la tesi doctoral de Beltran, que realitza un estudi dels recursos geotèrmics a Catalunya incloent dades analítiques de les aigües, tot i que data del 1973. A partir d'aquí s'utilitzen diversos manuals de geotèrmia de Catalunya realitzats a posteriori i treballs puntuals que ha anat fent l'Institut Geològic i Miner d'Espanya (IGME).

3. INTRODUCCIÓ

L'energia geotèrmica és un recurs natural present en la Terra. Existeixen diferents zones on el flux de calor es anormalment elevat i que coincideixen amb zones d'existència de fenòmens geològics que alliberen energia. Depenent del grau de flux de calor tindrem diferents gradients geotèrmics que donaran lloc a diferents tipus de jaciments geotèrmics, d'alta, baixa i molt baixa temperatura. Trobarem jaciments geotèrmics quan en una determinada àrea es compleixin les condicions tant geològiques com econòmiques necessàries per a poder explotar el recurs.

Concretament ens centrem en el Pirineu català ja que presenta les característiques estratigràfiques i estructurals adients per a què apareguin fonts termals. El Pirineu català està format per una sèrie de massissos granodiorítics amb fractures per on faciliten l'ascens d'aquestes aigües termals a la superfície. Es tracta d'un geotermalisme de baixa temperatura ja que no es troben zones amb flux de calor molt elevat com serien les zones entre límits de placa, zones volcàniques, etc. Per tant, aquest recurs a Catalunya, tractant-se d'una zona amb jaciments geotèrmics de baixa temperatura utilitzaria directament la calor per a la calefacció dels habitatges, per a processos industrials i per a usos agrícoles.

Es interessant realitzar l'estudi d'aquest recurs geotèrmic a Catalunya per què es tracta d'un recurs poc utilitzat, majoritàriament utilitzat per a l'oci i també com a mesura terapèutica, com per exemple, balnearis, i que es podria utilitzar i fins i tot reemplaçar part dels recursos energètics fòssils en alguns àmbits com es el cas de la calefacció ja que es parla d'una energia més neta i d'un recurs il·limitat. Possiblement seria útil realitzar projectes d'investigació més a fons per a poder aprofitar aquesta energia que proporciona les aigües termals substituint l'energia d'origen fòssil, que és més contaminant, i reduint les emissions de CO₂ a l'atmosfera. D'altra banda aquest recurs no s'esgota i el trobem en la mateixa zona geogràfica, fet que facilita el seu transport.

4. ENERGIA GEOTÈRMICA

4.1 L'energia geotèrmica

L'energia geotèrmica en el seu sentit més ampli, és la calor interna de la Terra. En el subsòl la temperatura augmenta amb la profunditat, existeix un gradient tèrmic, i, per tant, un flux de calor des de l'interior de la Terra cap a l'exterior. Tot això es conseqüència de la seva estructura interna. La Terra està constituïda bàsicament per tres capes concèntriques que es mostren en la figura 1: el nucli (capa més interna constituïda per ferro fos a una temperatura superior als 4.000°C), el mantell (capa intermèdia formada per silicats de ferro i magnesi, amb un gruix de 2900 km i amb temperatures que varien des dels 4.000°C en contacte amb el nucli fins als 800-1000°C en contacte amb l'escorça), i l'escorça (capa més superficial, amb un gruix variable de 5 a 35 km i formada per silicats d'alumini i magnesi amb temperatures entre els 800-1000°C en contacte amb el mantell i 15-20°C en la superfície. El flux mig de calor registrat en l'escorça terrestre es de l'ordre de 1,5 $\mu\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$).

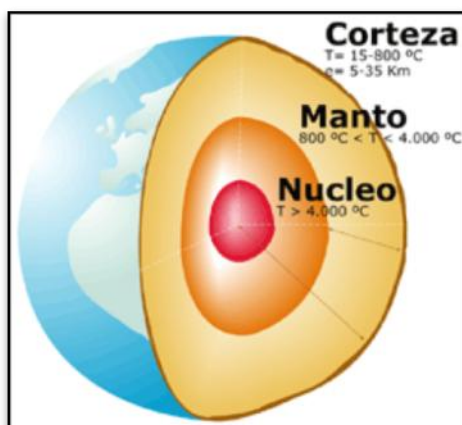


Figura 1: Estructura interna de la Terra (Energia geotèrmica, IGME)

En determinades zones de la Terra el flux de calor es anormalment elevat arribant a valors de fins a deu i vint vegades el flux mig citat. Aquestes àrees de flux elevat coincideixen amb zones d'existència de fenòmens geològics singulars (activitat sísmica elevada, formació de serralades en èpoques geològiques recents i una activitat volcànica actual o molt recent).

Aquests fenòmens geològics representen diferents formes d'alliberament de l'energia interna de la Terra degudes a la tectònica de plaques que regeix l'estructura de l'escorça i la seva relació amb el mantell.

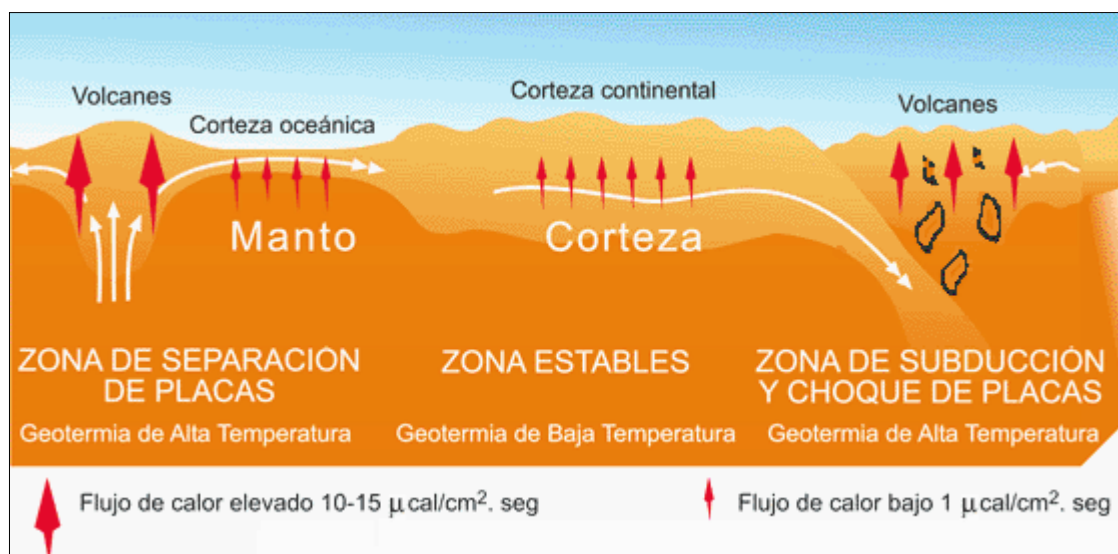


Figura 2: Flux de calor en les diferents zones de la Terra (Energia geotèrmica, IGME)

El flux de calor anòmal ocasionat en aquestes àrees singulars (figura 2) dóna lloc a gradients geotèrmics de 15-30°C/100 m (a profunditats de 1,5-2 km podem trobar temperatures de 200-300°C). Contràriament, en la resta de zones de l'escorça el flux calorífic dóna lloc a gradients geotèrmics de 3°C/100 m (a profunditats de 2-3 km es troben temperatures de 60-90°C).

Aquesta diferència de l'escorça terrestre en àrees estables amb flux calorífic baix i àrees inestables amb flux calorífic molt elevat (taula 1) serveix per marcar dos grans tipus d'energia geotèrmica: l'energia geotèrmica de baixa temperatura i l'energia geotèrmica d'alta temperatura.

Energia geotèrmica y estabilidad geologica		
CORTEZA TERRESTRE	ZONAS ESTABLES (Flujo normal)	FORMACIONES IMPERMEABLES (No explotable) FORMACIONES PERMEABLES Recursos geotérmicos de baja temperatura
	ZONAS INESTABLES (Flujo elevado)	FORMACIONES IMPERMEABLES (Roca caliente seca) FORMACIONES PERMEABLES Recursos geotérmicos de alta temperatura

Taula 1: Energia geotèrmica i estabilitat geològica en l'escorça terrestre (Energia geotèrmica, IGME)

Els mecanismes de propagació de la calor en qualsevol medi són la conducció, la convecció i la radiació. La conducció és la transferència de calor a través del medi per interacció entre partícules adjacents. Pot tenir lloc en sòlids, líquids i gasos, tot i que es

característica en sòlids ja que en líquids i gasos es produirà convecció (Llopis et al.). Per exemple, l'extrem d'una barra es manté a una temperatura superior a la de l'altre extrem, les molècules de l'extrem "calent" vibren amb major energia, la qual van transmetent a les veïnes més lentes i aquestes a la vegada a les següents més allunyades de l'extrem més "calent". L'energia de l'agitació tèrmica es transmet a través de la barra de l'extrem de temperatura més elevada cap al de menor temperatura (Pous et al. (2004)).

En la convecció es transfereix l'energia tèrmica entre una superfície sòlida i un fluid adjacent (líquid o gas). Combina els efectes de conducció i el moviment del fluid provocat per les diferències de densitat del mateix. Les partícules més calentes del fluid, i per tant, menys denses, ascendeixen desplaçant a les més fredes (més denses) que s'enfonsen per gravetat i que posteriorment, calentes, són empunyades altra vegada cap amunt. Quan més ràpid es el moviment del fluid, major es la transferència de calor per convecció (Llopis et al.).

I per últim, la radiació es l'emissió d'energia en forma d'ones electromagnètiques, com a resultat de canvis en les configuracions electròniques dels àtoms o molècules. La radiació tèrmica és la radiació emesa per els cossos degut a la seva temperatura. Tots els materials a temperatura superior al 0 absolut emeten radiació tèrmica. Els més calents radien més que els més freds. Quan una radiació electromagnètica xoca amb un material, les seves molècules es mouen més ràpid i escalfen el material. La transferència de calor per radiació es la més ràpida (Llopis et al.).

4.2 Jaciments geotèrmics

Existeix un jaciment geotèrmic quan en una àrea geogràfica es compleixen les condicions geològiques i econòmiques necessàries per a poder explotar els recursos geotèrmics del subsòl.

4.2.1 Jaciments geotèrmics d'alta temperatura:

Per a què tinguin lloc aquests jaciments són necessàries una sèrie de condicions geològiques. Primerament ha d'estar situat en una de les zones o àrees inestables on existeix un focus de calor actiu que proporcioni un flux de calor anòmal. Una altra condició es l'existència a una profunditat determinada (1,5-2 km) de capes de materials permeables o magatzem tal com s'observa en la figura 3, que permetin la circulació de fluids capaços

d'extreure la calor de la roca. I finalment, aquests fluids han d'estar en profunditat de manera que s'eviti la dissipació contínua de l'energia de la roca. Per a que es doni lloc aquest fenomen es necessita la presència de materials impermeables (figura 3) que actuïn de segell dels magatzem.

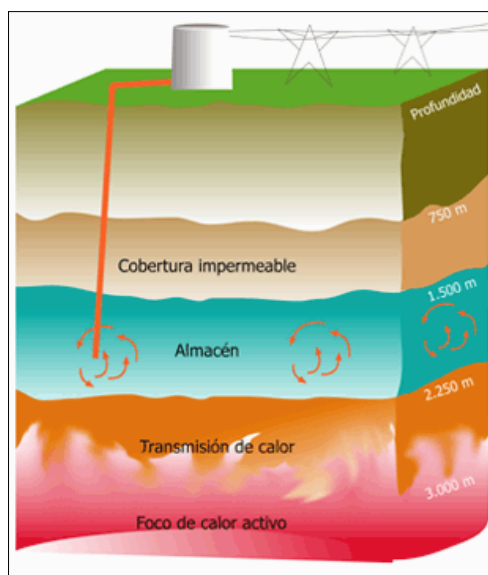


Figura 3: Esquema de les capes de materials necessàries per l'existència de jaciments geotèrmics d'alta temperatura (Energia geotèrmica, IGME)

4.2.2 Jaciments geotèrmics de baixa temperatura:

Per a la existència d'aquests jaciments no són necessàries condicions geològiques estrictes. Aquests jaciments es troben en zones estables de l'escorça terrestre en les que el gradient geotèrmic no és anòmal. La única condició geològica que requereixen aquests jaciments és l'existència a profunditats de 1,5-2,5 km de materials geològics permeables capaços de contenir i deixar circular fluids que extreguin la calor de la roca (figura 4).

Existeix una segona condició important, no geològica sinó econòmica per a què es donin aquests jaciments. Degut al baix nivell tèrmic del fluid (60-90°C), aquest s'ha d'utilitzar en aplicacions directes de la calor, pel que requereix la existència en les seves proximitats d'un centre de consum adequat i important.

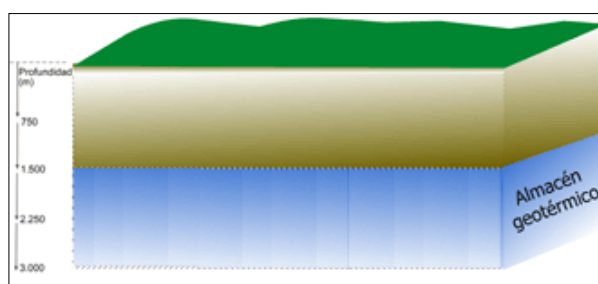


Figura 4: Esquema de les capes necessàries per l'existència de jaciments geotèrmics de baixa temperatura (Energia geotèrmica, IGME)

4.2.3 Jaciments de roca calenta i seca i Sistemes geotèrmics estimulats

Les limitacions o condicions geològic - econòmiques del concepte de jaciment geotèrmic depenen molt de l'estat de la tecnologia d'extracció dels fluids i transformació de la calor continguda en ells en una forma d'energia útil.

Per tant, si la tecnologia segueix progressant en el sentit actual, aviat es definirà un tercer tipus de jaciment geotèrmic: el de roca calenta seca (HDR) tal i com s'observa en la figura 5, on no existeix fluid portador de calor ni materials permeables. Els dos factors són introduïts artificialment per l'home. Les experiències pilot progressen, havent arribat a produir electricitat en camps d'aquest tipus.

Els resultats obtinguts en la creació d'aquest tipus de jaciments geotèrmics "artificials" han conduït a la denominació de Sistemes geotèrmics estimulats (EGS) on s'engloben tots els jaciments creats o desenvolupats per l'home i on s'utilitzen tècniques per a la creació i/o estimulació del jaciment.

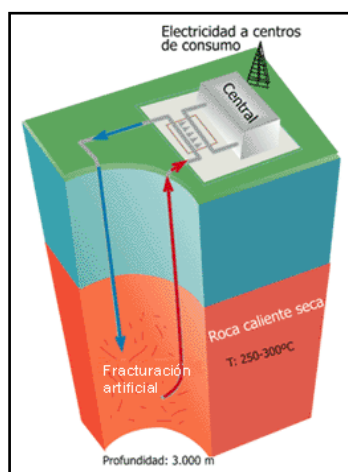


Figura 5: Esquema de jaciment de roca calenta seca (Energia geotèrmica, IGME)

Tal i com es troben els recursos geotèrmics en la Terra no poden ser aprofitats per l'home, per això, per a poder aprofitar aquest recurs provinent dels diferents jaciments geotèrmics existents es necessària una tecnologia d'aprofitament que els converteixi en una forma d'energia directament utilitzable que dependrà sobretot del nivell tèrmic del recurs.

Per aprofitar aquest recurs que es troba a profunditats de 1,5-3 km, el primer pas es traslladar-lo fins la superfície. S'aconsegueix per la presència d'un fluid com l'aigua que actua com a vehicle transportador de l'energia i que ascendeix a la superfície mitjançant els sondejos realitzats.

Per complir l'objectiu, els sondejos han de reunir les condicions de dimensió i acabat adequades, de manera que durin el major temps possible, produint la màxima quantitat de fluid amb el menor cost de manteniment.

El fluid geotèrmic, l'aigua en aquest cas, una vegada a la superfície, s'ha de sotmetre a les transformacions necessàries per què la seva energia tèrmica potencial pugui ser aprofitada. Els processos empleats en la transformació depenen del nivell tèrmic del fluid (aigua). Els d'alta temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$) s'utilitzen per a la producció directa d'electricitat, els de mitja temperatura ($100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$) es poden utilitzar per a produir electricitat mitjançant l'ús de cicles binaris (rendiments termodinàmics molt baixos) i sent millor l'aplicació en processos industrials, i per últim, els de baixa temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$) empleats en usos directes de la calor com calefacció per a vivendes, processos industrials, usos agrícoles, i quan la temperatura es molt baixa ($20\text{-}30^{\circ}\text{C}$), poden ser utilitzats per aigua calenta sanitària i aire condicionat amb l'ús de la bomba de calor.

4.3 Aplicacions actuals de l'energia geotèrmica

Pel que fa a l'energia geotèrmica existeixen diferents aplicacions actuals en diferents àmbits tal i com es pot veure en la figura 6. En aquesta figura es mostren les aplicacions més importants que dependran del contingut de calor del fluid geotèrmic (Llopis et al.). En l'àmbit de l'habitatge, oci i salut l'energia geotèrmica s'utilitza per a la calefacció, per a centres d'oci com piscines, balnearis i com a aigua calenta sanitària. També pot ser utilitzada en l'agricultura i l'alimentació per a la piscicultura- aquicultura, per al cultiu de bolets, per a la calefacció d'hivernacles, per al secat de productes agrícoles, etc. I finalment en la

indústria, sent l'àmbit que utilitza energia de jaciments geotèrmics de més alta temperatura, l'energia geotèrmica s'aplica per a diferents processos industrials com per exemple, l'extracció de substàncies químiques, recuperació de metalls, fabricació de pasta de paper, etc.

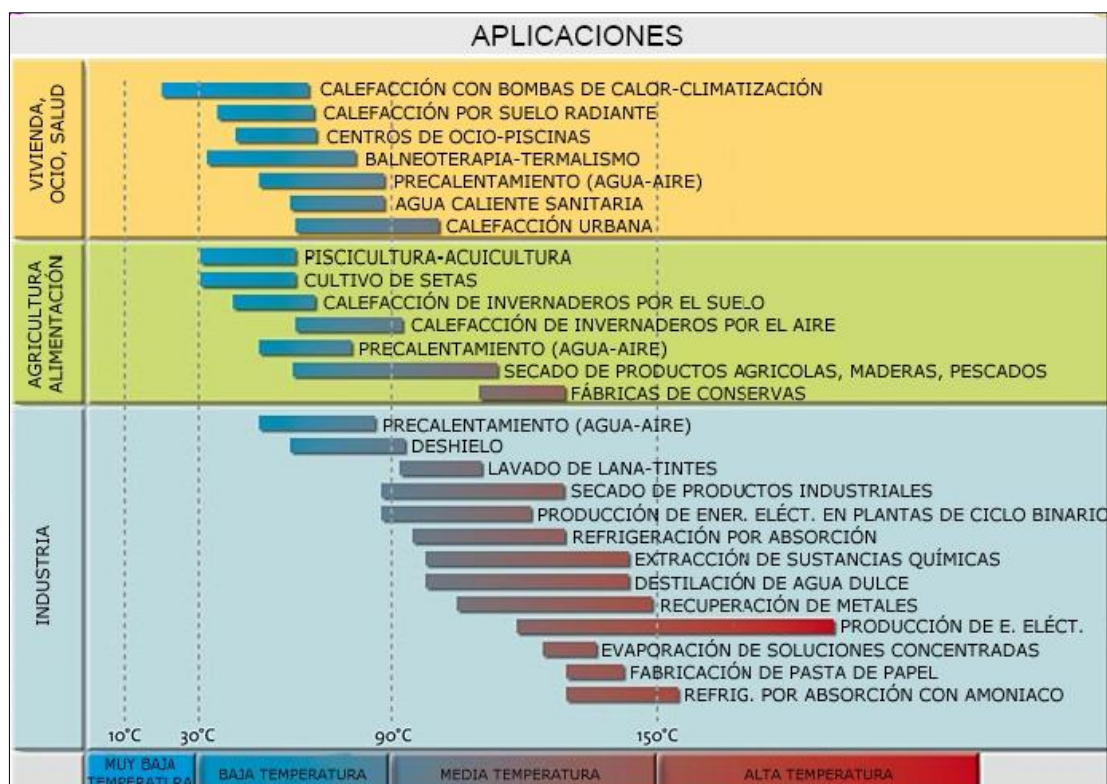


Figura 6: Principals usos de l'energia geotèrmica en funció de la temperatura (Guillermo Llopis (ETSI Minas-UPM))

En la figura 7 es mostra el percentatge de les diferents aplicacions de l'energia geotèrmica en 72 països durant l'any 2005. S'observa que l'energia geotèrmica utilitzada per al funcionament de les bombes de calor geotèrmiques per a proporcionar calefacció tenen el percentatge més elevat, mentre que el percentatge més petit es per a la utilització d'aquest tipus d'energia en l'agricultura. Possiblement per què fins ara no deixa de ser un recurs poc explotat i l'ús més freqüent sigui la calefacció.

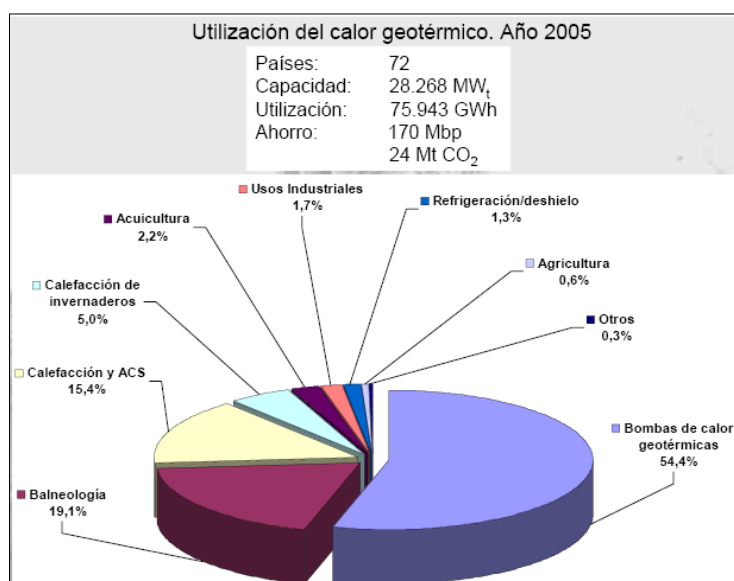


Figura 7: Utilització de la calor geotèrmica durant el 2005 (Guillermo Llopis (ETSI Minas-UPM))

Per altra banda, existeixen diferents usos de l'energia geotèrmica a diferents temperatures, la figura a continuació mostra els típics des dels 4°C a aproximadament els 200°C. A temperatures més baixes aquest recurs pot ser utilitzat per a bombes de calor en habitatges individuals, per a la calefacció, per als banys, aqüicultura, etc. A mesura que la temperatura en els jaciments geotèrmics es més elevada, l'energia produïda pot ser utilitzada per a calefacció i refrigeració en aquest cas d'edificis comunitaris, per a la generació d'electricitat en centrals geotèrmiques, etc.

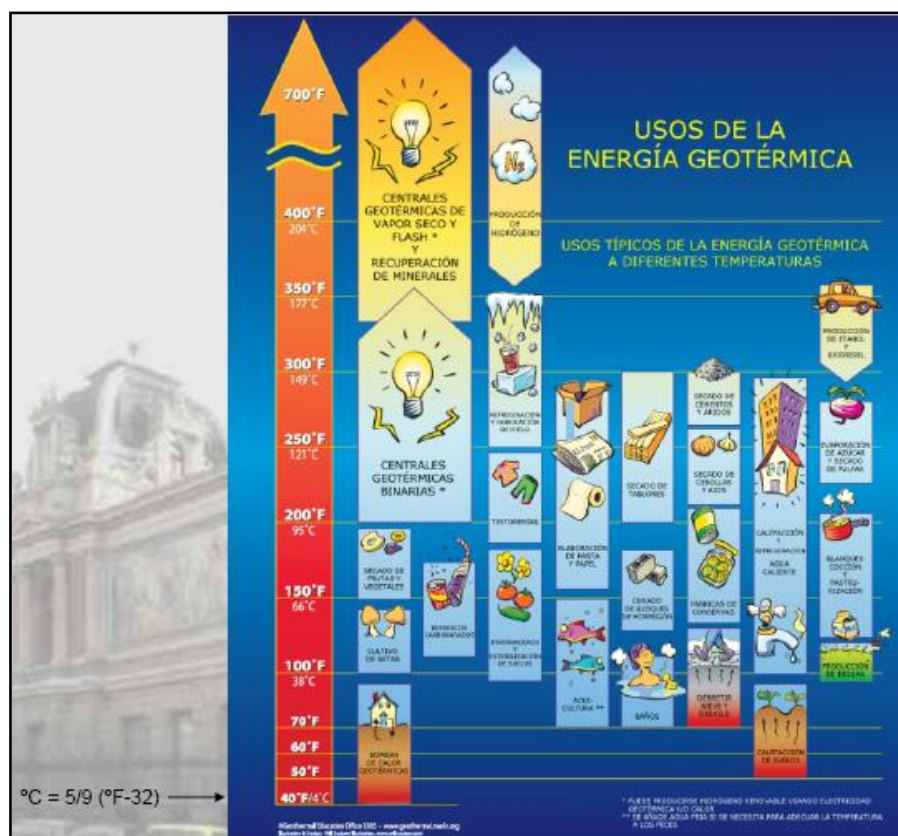


Figura 8: Usos típics de l'energia geotèrmica a diferents temperatures (Guillermo Llopis (ETSI Minas-UPM))

4.4 Geotèrmia al món

4.4.1 Producció d'electricitat (geotèrmia d'alta temperatura):

Els primers intents de producció d'electricitat amb energia geotèrmica comencen amb experiments a Itàlia entre el 1904 i el 1905.

La primera planta es construeix el 1913 (250 kWe), el 1950 s'arriba als 300 MWe a Itàlia, en el jaciment de Landarelllo. El 1958 comença la producció geotermoelèctrica a Nova Zelanda, amb el jaciment de Wairakei, el 1959 a Mèxic amb el jaciment Pathe i el 1960 a Estats Units amb el jaciment de The Geysers.

A partir de l'any 1973, any de la primera crisi del petroli, es produeix la gran expansió en la generació d'electricitat amb energia geotèrmica incorporant-se successivament Japó, Islàndia i El Salvador (1975), Indonèsia, Kenia, Turquia i Filipines (1980), Nicaragua (1985), Costa Rica (1995), Guatemala (2000), etc.

Per alguns països la producció d'electricitat a partir d'energia geotèrmica (taula 2) representa una fracció important de la seva producció elèctrica total, per tant, opino que aquest recurs il·limitat que es troba en tota la Terra i que pot ser explotat està adoptant cada vegada valors més elevats d'utilització degut als seus efectes eficients davant els combustibles fòssils, que són limitats i que produeixen una contaminació ambiental més elevada que l'energia geotèrmica.

Filipines	16,2%
Nicaragua	17,0%
El Salvador	15,4%
Islàndia	13,0%
Costa Rica	7,8%
Kenia	5,3%
Nova Zelanda	5,1%
Indonèsia	3,0%

Taula 2: Percentatge de producció elèctrica amb energia geotèrmica (IGME, 2000)

Per altra banda, la taula 3 mostra la producció d'electricitat en tot el món l'any 2000 a partir de jaciments geotèrmics d'alta temperatura. El major productor es EEUU amb 2.228 MWe de potència dels 7.974 MWe produïts al món durant el 2000. En la figura 8 s'observa l'evolució del 1900 fins l'any 2000 de la generació d'electricitat a partir de jaciments geotèrmics d'alta temperatura, aquesta gràfica mostra un augment en la utilització d'aquest recurs per generar electricitat de fins a 8 vegades superior l'any 2000.

GEOTERMIA D'ALTA TEMPERATURA	
PRODUCCIÓ D'ELECTRICITAT (Any 2000)	
Potència instal·lada (MWe):	
Total en el mundo	7.974
EEUU	2.228
Filipinas	1.909
Itàlia	785
Méjico	755
Indonesia	590
Japón	547
Nueva Zelanda	437

Taula 3: Producció d'electricitat en el món l'any 2000 (IGME, 2000)

EVOLUCIÓ DE POTÈNCIA INSTAL·LADA EN EL MÓN
Generació d'electricitat

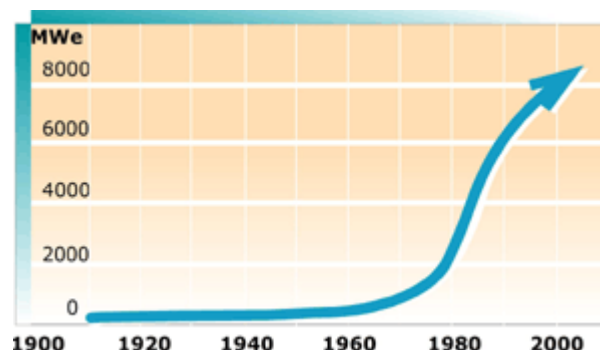


Figura 9: Evolució de potència instal·lada en el món en generació d'electricitat a partir d'energia geotèrmica des del 1900 fins l'any 2000 (IGME)

Durant el 2002 la xifra ha arribat als 8.350 MWe superant la xifra del 2000, per tant, es evident que aquest valor anirà en augment en els pròxims anys i opino que encara ho evidència més el fet de l'augment actual del preu dels recursos fòssils i el fet que es tracti d'un recurs limitat.

4.4.2 Utilització directa de la calor (geotèrmia de baixa temperatura):

Existeixen proves de que l'ús directe de la calor de la Terra es tan antic com l'home. Totes les civilitzacions antigues coneixien i utilitzaven la balneoteràpia. Però l'ús industrial i a major escala d'aquesta energia es produeix en el segle XX, sent Islàndia el país pioner, on comença a calefactar hivernacles amb energia geotèrmica.

El 1930 s'estableix el primer sistema de district-heating a Reykiavik per subministrar calor a 70 cases. Es en la dècada dels 50 es quan es comença a desenvolupar a major escala l'aprofitament d'aquesta energia geotèrmica de baixa temperatura a Islàndia, Itàlia, Nova Zelanda i Japó. A principi dels 70 ja s'incorporen Hongria, Kenya, la URSS i França. El 1975 també tenien producció de calor Filipines, Turquia i EEUU. A partir de llavors, es produeix la gran expansió. Àustria i Alemanya (1980), Australia, Canadà, Xina, Polònia, Romania, Suïssa, Iugoslàvia, etc., arribant a ser en el 2000, 58 països amb aprofitaments, declarats i de certa entitat, de calor geotèrmica. A continuació, la taula 4 mostra la utilització directa de la calor a partir de recursos geotèrmics de baixa temperatura durant l'any 2000. EEUU torna a ser el

major productor amb 3.766 MWt dels 15.145 MWt mundials. En aquest cas passa el mateix que amb els recursos geotèrmics d'alta temperatura i es produeix un augment de la potència generada a partir dels recursos geotèrmics de baixa temperatura des del 1960 al 2000 (figura 10).

GEOTERMIA DE BAIXA TEMPERATURA	
UTILITZACIÓ DIRECTA DE LA CALOR (Any 2000).	
Potencia instalada (MWt):	
Total en el mundo	15.145
EEUU	3.766
China	2.282
Islandia	1.469
Japón	1.167
Turquía	820
Suïssa	547
Hongría	473
Alemania	397

Taula 4: Utilització directa de la calor en el món l'any 2000 (IGME)

EVOLUCIÓ DE LA POTÈNCIA INSTAL·LADA EN EL MÓN Ús directe de la calor

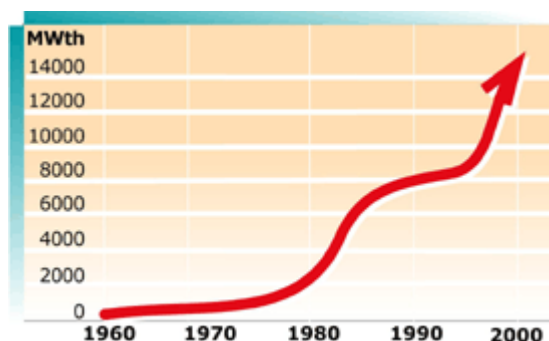


Figura 10: Evolució de la potència instal·lada en el món amb ús directe de la calor a partir de recursos geotèrmics des del 1960 fins l'any 2000 (IGME)

4.4.3 Energia dels aqüífers (Geotèrmia de molt baixa temperatura):

Associada al desenvolupament dels usos directes de la calor, es produeix l'evolució de les aplicacions de la bomba de calor per l'aprofitament de la calor continguda en el subsòl més superficial i en les aigües subterrànies poc profundes. Actualment a Europa existeix un increment continu del número d'instal·lacions, que va arribar al 16% l'any 2002 respecte al

2001. En la taula 5 s'observa la potència instal·lada a Europa l'any 2002, sent Suècia el major productor amb 1.056 MWt.

GEOTERMIA DE MOLT BAIXA TEMPERATURA	
ENERGIA DELS AQÜÍFERS I SUSBÒL POC PROFUND (BOMBA DE CALOR)	
Potència instal·lada (MWt). Any 2002:	
Total Unió Europea	3.281 MWt
Suècia	1.056 MWt
Alemanya	587 MWt
França	541 MWt
Àustria	590 MWt
Finlàndia	320 MWt
Dinamarca	86 MWt
Holanda	62 MWt

Taula 5: Potència instal·lada (MWt) a partir de l'energia dels aqüífers i del subsòl poc profund en el món l'any 2002 (IGME)

La imatge (figura 11) següent mostra les zones propícies de recursos geotèrmics per al desenvolupament d'energia geotèrmica tant d'alta temperatura com de baixa temperatura i de molt baixa temperatura en el món.

Les zones més propícies per a trobar jaciments geotèrmics d'elevada temperatura són aquelles on es troben els límits entre plaques, ja que es on es genera nou material, i per tant, on les temperatures són més elevades, tot i que s'han de donar les condicions geològiques i hidrològiques per a trobar un jaciment d'aquest tipus.

Les zones de subducció associades a línies de volcans (com en el Pacífic: els Andes a Sud-Amèrica, Amèrica Central, Mèxic, Canadà, Rússia, Japó, Filipines, Indonèsia i Nova Zelanda). Per altra banda, les dorsals oceàniques coincideixen amb una línia de volcans actius submarins que seran explotables només si emergeixen a la superfície, com en el cas d'Islàndia, un dels països on s'aprofita més l'energia geotèrmica. En les col·lisions de placa continent – continent que acaben formant un orogen també seran llocs susceptibles de presentar anomalies geotèrmiques. En l'interior de les plaques, en les zones d'aprimament litosfèric o zones de rift, amb sistemes de falles normals i estructures de tipus graben, poden donar lloc a intrusions de magma i conseqüentment presentar anomalies tèrmiques. Les zones amb jaciments geotèrmics de baixa temperatura es trobarien associades a condicions geològiques particulars com jaciments associats a conques sedimentàries. També es troben

associats a sistemes de falles normals per on ascendeix l'aigua i genera manifestacions tèrmiques en superfície (Pous et al. (2004)).



Figura 11: Recursos geotèrmics en el món ("Aplicaciones actuales de la energía geotérmica", Guillermo Llopis (ETSI Minas-UPM))

4.5 Geotèrmia a Espanya:

La investigació dels recursos geotèrmics a Espanya per part de l' Institut Geològic i Miner d'Espanya (IGME), es va iniciar en la dècada dels setanta, mitjançant la realització de l' Inventari General de Manifestacions Geotèrmiques en el que es va dur a terme un reconeixement general, geològic i geoquímic, dels indicis termals existents en tot el seu territori.

Posteriorment, es va realitzar una selecció de les àrees (figura 12) de major interès geotèrmic basades en criteris geològics. S'ha investigat cada àrea seleccionada, en major o menor intensitat depenent del seu potencial geotèrmic mitjançant estudis de detall utilitzant tècniques geològiques, geofísiques, geoquímiques, etc. Posteriorment i a partir de perforacions profundes s'ha pogut avaluar el potencial geotèrmic de les àrees més importants que se situen al sud-est d'Espanya (Granada, Almeria i Murcia), al nord-est (Barcelona, Girona i Tarragona), al nord-oest (Ourense, Pontevedra i Lugo) i en el centre de

la Península Ibèrica (Madrid). També s'han investigat àrees de menor entitat situades a Albacete, Lleida, Lleó, Burgos i Mallorca.

En tots els casos els recursos geotèrmics avaluats són de baixa temperatura, 50-90°C. Els jaciments geotèrmics de baixa temperatura actualment són explotats parcialment i en petita intensitat. S'utilitza energia geotèrmica per a la calefacció i subministrament d'aigua calenta en edificis de balnearis a Lugo, La Rioja, Navarra, Montbrió del Camp (Tarragona), Archena (Murcia) i a Almeria. A Ourense i Lleida s'utilitza l'energia geotèrmica per a la calefacció d'altres tipus d'edificis com habitatges o escoles. En punts de Montbrió del Camp (Tarragona), Murcia i Granada s'ha desenvolupat l'aplicació de calefacció per a recintes agrícoles (hivernacles).

L'ordre d'interès geotèrmic de les diferents zones depèn en primer lloc de la possibilitat de localitzar jaciments d'alta entalpia. Les zones amb entalpia mitja o baixa tindran un interès més o menys important en relació a la distància als possibles centres de consum.

4.5.1 Selecció de les diferents àrees d'Espanya:

Les àrees d'interès geotèrmic de baixa temperatura a Espanya (figura 12) en roques sedimentàries profundes magatzem es troben a la Conca del Tajo (Madrid) i en la Conca del Duero (Lleó, Burgos i Valladolid). Mentre que en les zones inter-muntanyoses i volcàniques es troben en l'àrea Pre-bètica i Ibèrica (Albacete i Cuenca), en les depressions catalanes (Vallès, Penedès, La Selva i l'Empordà) i finalment en les depressions internes de les Serralades Bètiques (Granada, Guadix, Baza, Cartagena, Mula, Mallorca i Canàries).

Després es troben les àrees geotèrmiques de temperatura mitjana com les Serralades Bètiques (Murcia, Almeria i Granada), Catalunya (Vallès, Penedès, La Selva i Olot), Galícia (àrees d'Ourense i Pontevedra) i el Pirineu Oriental (la zona de Jaca – Sabiñánigo) tal i com es veuen en la figura 12.

I finalment, les àrees geotèrmiques d'alta temperatura on apareixen les Canàries (figura 12) (Tenerife, Lanzarote i La Palma).

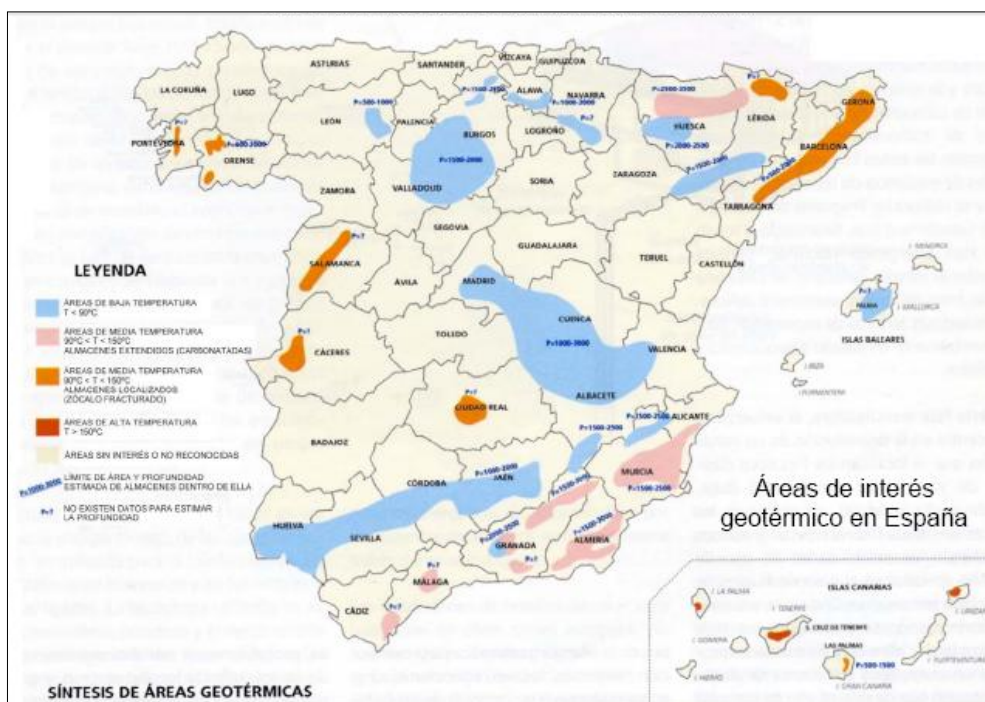


Figura 12: Àrees d'interès geotèrmic a Espanya Institut geològic i miner d'Espanya (IGME))

5. ESTRUCTURA DE FLUX DE CALOR EN EL NE DE LA PENÍNSULA IBÈRICA (PIRINEU)

Pel càlcul del flux de calor es necessari conèixer el gradient geotèrmic i la conductivitat tèrmica (Beltran, J.A, 1973). El flux de calor resulta del producte del gradient geotèrmic per la conductivitat tèrmica del medi. La conductivitat tèrmica es pot mesurar al laboratori partir de l'anàlisi de mostres extretes dels sondejos però és molt costós, per tant, alguns autors, com per exemple, Kappelmeyer i Haenel (1974) realitzen una taula (taula 6) que publica valors de conductivitat tèrmica corresponents als diferents tipus de roques per a una àmplia gamma de pressions i temperatures.

Material	Conductivitat (cal/cm·s·°C)
Argila	$5,3 \cdot 10^{-3}$
Marga	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Gresos	$7,7 \cdot 10^{-3}$
Argila Margosa	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Llims Margosos	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Guix	$12,6 \cdot 10^{-3}$
Sal	$12,6 \cdot 10^{-3}$
Calcària	$6,2 \cdot 10^{-3}$

Taula 6: Conductivitats mitges de diferents materials segons Kappelmeyer i Haenel (1974)

Per calcular el flux de calor a Catalunya l' Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya elabora una sèrie de mapes. Per arribar a obtenir el mapa de flux de calor, anteriorment es realitzen, el mapa de temperatures superficials a nivell del mar, el mapa de temperatures a 100 m de profunditat, el mapa de salt tèrmic a 100 m de profunditat i el mapa de gradient geotèrmic.

El **mapa de temperatures superficials reduïdes a nivell del mar** (figura 14) s'elabora a partir de dades del Servei Meteorològic de Catalunya. Aquest mapa permetrà obtindre una temperatura mitja anual en qualsevol punt de la superfície que servirà posteriorment per a calcular el mapa de salt tèrmic a 100 m de profunditat. La variació de la temperatura superficial afectarà a la distribució de temperatures en el règim tèrmic més superficial.

Per realitzar el mapa es prenen les temperatures mitges anuals mesurades en 150 estacions meteorològiques amb una sèrie de 5 anys (del 2001 al 2008). Aquestes mesures han de ser projectades en un mateix pla, en aquest cas, el nivell del mar, aplicant un gradient calculat a partir de la regressió lineal entre la temperatura mitja anual i la cota de les

estacions obtenint 5°C/km. Un cop realitzada la projecció de les temperatures a nivell del mar s'elabora el mapa interpolant espacialment.

El mapa mostra una disminució de les temperatures al allunyar-nos del mar per efecte de la continentalitat i cap a les cotes elevades per efecte de la nuvolositat i la pluja.

En el Pirineu central apareixen una sèrie d'anomalies en forma de màxims i mínims de temperatura associats al efecte Foehn (figura 13) que consisteix en un ascens anormal de les temperatures i un descens de la humitat relativa en el fons de la vall. Aquest efecte va associat a un flux de vent humit que es dirigeix a la vessant barlovento i que es veu obligat a ascendir per la topografia de la muntanya. A mesura que ascendeix, la temperatura d'aquesta massa disminueix 1°C cada 100m. Quan arriba al límit de condensació es forma un núvol i poden aparèixer precipitacions convertint-se en una massa d'aire saturat. La massa continua ascendint fins al cim on acaba el procés de condensació i passa a ser una massa d'aire seca que descendeix per la vessant de sotavento augmentant en temperatura 1°C cada 100m obtenint un augment de temperatura d'una vessant a l'altra de 2°C.

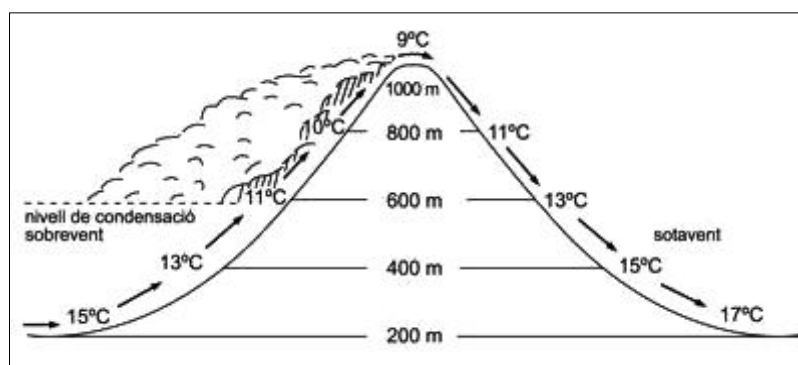


Figura 13: Esquema de l'efecte Fohen (Florenç Rey, revista "The Gryffin")

En el mapa també s'observa un mínim de temperatura en l'Empordà causat per la dinàmica de vents lligada a la disminució del relleu Pirinenc i un altre en la Conca de l'Ebre degut als regadius durant la primavera i estiu i als fenòmens d'inversió tèrmica que provoquen boires recurrents al hivern.

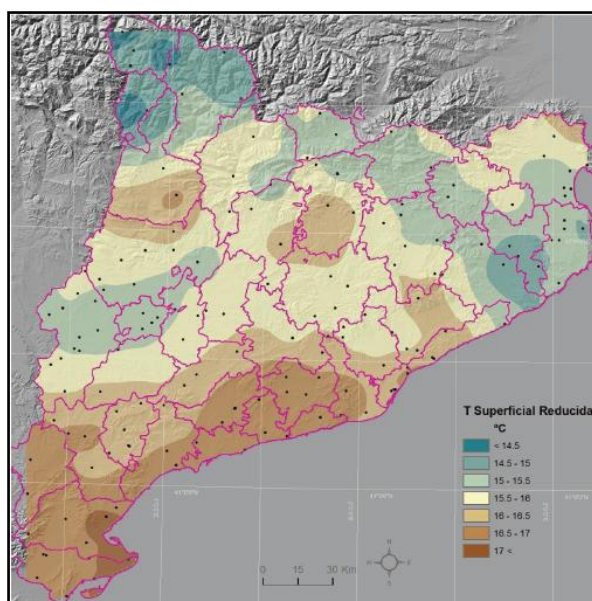


Figura 14: Mapa de Catalunya de temperatures superficials reduïdes a nivell del mar, els punts representen estacions meteorològiques (Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya per Puig et al.(2009))

Els mapes a continuació s'han elaborat a partir de la base de dades termomètriques del ICTJA-CSIC. Les termometries són els registres de temperatura en profunditat mesurats en els sondejos (miners, petrolers, d'aigua i d'exploració geotèrmica) realitzats per l'IGME, l'ICTJA-CSIC i l'IGC.

A continuació s'elabora el **mapa de temperatures a 100 m de profunditat** (figura 15) a partir de les mesures directes de la temperatura a 100 m de profunditat que s'utilitzarà posteriorment per realitzar el mapa de salt tèrmic. Aquests mapes seran útils per a la realització de projectes geotèrmics de baixa temperatura.

Aquest mapa mostra un augment de temperatura des del Pirineu a la costa. Una de les causes es que en les topografies elevades es dona la recàrrega hidràulica i la circulació descendent de l'aigua (per infiltració) provoca una disminució de les temperatures. Una altra causa seria la disminució de la temperatura superficial amb la topografia que es veu manifestat també en profunditat. I finalment, en trobar-se en una àrea tectònica on la deformació de l'escorça i del mantell són directament proporcionals, el flux de calor per conducció disminueix amb la topografia.

Per altra banda, el mapa mostra dues anomalies, una de positiva i una altra de negativa. La positiva afecta al Vallès Oriental i es causada per un conjunt d'anomalies molt

locals mentre que la negativa afecta a la desembocadura de l'Ebre i es causada possiblement per l'efecte d'un procés d'infiltració ràpid d'aigua meteòrica a través dels sediments al·luvials i les calcàries mesozoiques fisurades i carstificades. Aquest fluid meteòric que s'infiltra es barreja amb les aigües termals, refredant-les i genera possiblement aquesta anomalia.

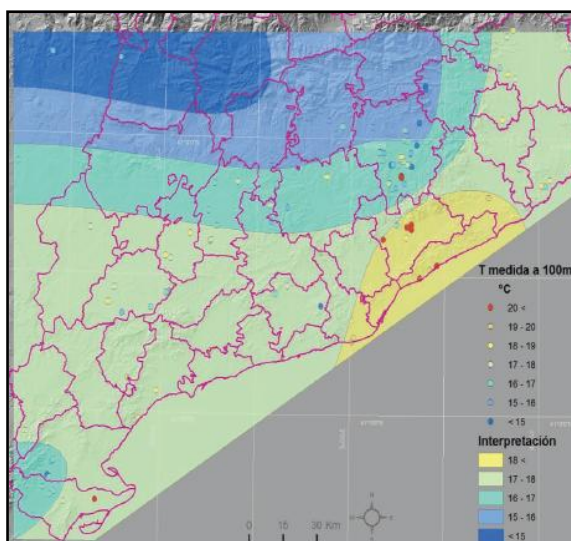


Figura 15: Mapa de Catalunya de temperatures mesurades a 100 m de profunditat (Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya per Puig et al. (2009))

A continuació, amb la diferència entre la temperatura a 100 m de profunditat i la temperatura superficial en cada punt a partir dels mapes descrits anteriorment s'obté el **mapa de salt tèrmic a 100 metres de profunditat** (figura 16). Aquest mapa dóna idea de la distribució de temperatures a certa profunditat que podrà veure's afectat per pertorbacions locals i que servirà com a aproximació pels posteriors projectes geotèrmics de baixa temperatura (per a la calefacció i refrigeració domèstica i per a usos industrials).

En el mapa domina el salt tèrmic proper als 3°C, valor esperat a Catalunya, tot i que no deixen d'aparèixer les dues anomalies regionals descrites amb anterioritat, l'anomalia positiva del Vallès Oriental i la negativa en la desembocadura de l'Ebre.

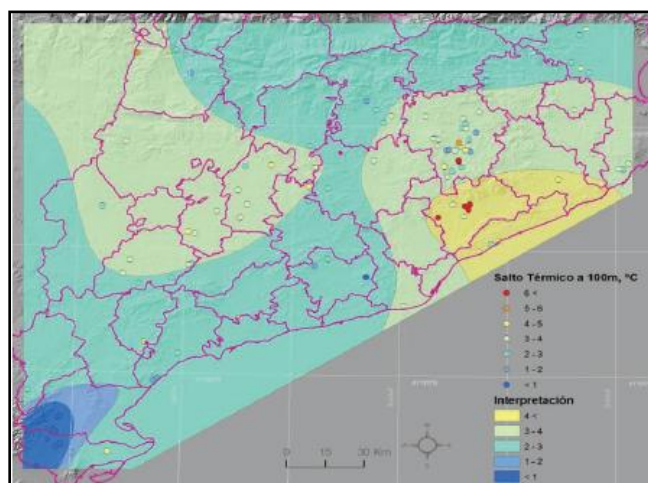


Figura 16: Mapa de Catalunya de salt tèrmic a 100 m de profunditat (font: Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya per Puig et al.(2009))

El **mapa de gradients geotèrmics** (figura 17) de Catalunya s'ha elaborat a partir dels gradients naturals de cada sondeig, per a evitar l'efecte de possibles pertorbacions de temperatures diürnes i anuals no es consideren les temperatures dels primers 30 metres.

El mapa mostra un augment del gradient geotèrmic a nivell regional des del Pirineu a la costa, que es pot interpretar visualment per la separació de les isotermes, ja que com més drena el flux, més plana queda la superfície i es manifesta amb una separació de les isotermes.

En aquest cas l'anomalia positiva del Vallès Oriental s'intensifica englobant altres anomalies locals més al nord i s'han descrit com anomalies provocades per processos d'infiltració lenta i descàrrega ràpida en profunditat a través de falles (Cabal y Fernández, 1995).

També s'observa l'anomalia de la desembocadura de l'Ebre que s'estén cap al nord causada com s'ha dit anteriorment per la infiltració de l'aigua que refreda les aigües termals.

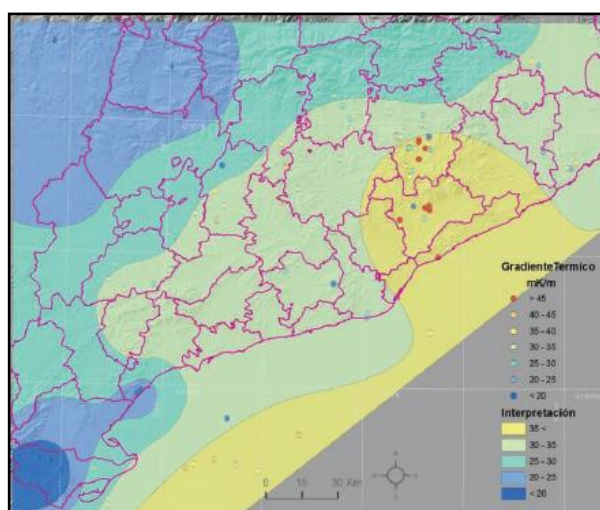


Figura 17: Mapa de Catalunya de gradient geotèrmic (font: Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya per Puig et al.(2009))

I finalment, a partir del mapa de gradient geotèrmic i la conductivitat tèrmica del medi obtenim el **mapa de flux de calor superficial** (figura 18). En aquest cas, la conductivitat tèrmica es calculada a partir de mesures en el laboratori realitzades per Fernández et al. (1998).

El mapa segueix mostrant les anomalies descrites en els casos anteriors però en aquest cas ja no es pot correlacionar amb la topografia ja que existeixen diferències degudes al control exercit per les diferents conductivitats tèrmiques dels materials amplificant les anomalies.

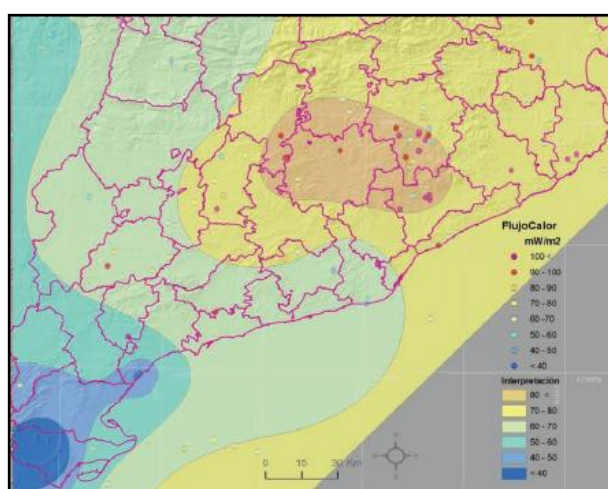


Figura 18: Mapa de Catalunya de flux de calor superficial (Atlas de recursos geotèrmics de Catalunya per Puig et al. (2009))

6. CONTEXTUALITZACIÓ EN LÀMBIT ESPECÍFIC DE LA UNITAT MORFOESTRUCTURAL DELS PIRINEUS

Les manifestacions termals superficials de la unitat morfoestructural dels Pirineus es donen en forma de fonts d'aigua calenta amb temperatures que arriben als 71°C.

La distribució de les fonts termals al Pirineu es irregular, ja que es troben en major proporció a la vessant francesa situats en la part oriental de la serralada, des de Panticosa (Huesca) al Mediterrani.

Les manifestacions termals es disposen en el Pirineu català en tres grans nuclis: l'occidental i central a Lleida (Vall d'Aran i depressions terciàries de l'Urgellet i la Cerdanya respectivament) i l'oriental prop de la costa gironina.

L'aigua termal (Beltran, J.A, 1973), durant l'ascens a la superfície, adopta diferents vies de sortida, en una àrea reduïda generalment en funció d'accidents locals (diàclasis, dics, fractures menors, etc).

La major part de les manifestacions termals es troben associades a les vores dels massissos intrusius, i més concretament, a les fractures perifèriques que actuen com a vies preferencials de circulació ascendent d'aquestes aigües (taula 7).

Localitat	Cabal (l/m)	Surgència
Les	12	Vora intrusiva. Contacte granit - micaesquist Cambro - ordovicià
Caldes de Boí	>500	Granodiorita. Falla perifèrica massís granític
Arties	60	Contacte granit – calcàries devonianes. Falla perifèrica massís granític
Tredós	Aprox. 150	Contacte granit – calcàries devonianes. Falla perifèrica massís granític
Espot	4	Esquistos
Andorra	>300	Contacte granit – calcàries devonianes. Falla perifèrica massís granític
Senillers	23	Granodiorita. Falla perifèrica massís granític
Ribes de Freser	Aprox. 1800	Plec – falla en calcàries garummenses
N^a Sra. Mercedes	30	Granodiorita. Falla transversal massís granític
S. Clemente	18	Granodiorita. Falla perifèrica massís granític

Taula 7: Cabals mesurats i característiques geològiques de les surgències d'aigua termal (Beltran (1973))

En algunes ocasions la localització de les fonts termals ve determinada per la presència de dics que es comporten com a pantalles impermeables (Les Escaldes, Musa) o com a vies de major permeabilitat. No obstant, en tots els casos, les fonts termals constitueixen clars models de surgències de vall o de fons de llit del riu, ja que el drenatge a superfície es dona sempre en aquestes zones deprimides on el circuit termal ascendent coincideix amb la zona on el nivell piezomètric es menor. Per tant, sent el model típic de font termal de Catalunya, s'haurà de buscar la manifestació termal on el pla de falla que condiciona l'ascens de les aigües calentes de circulació profunda interseca amb el fons de vall principal de la xarxa de drenatge de superfície. En molts casos, les surgències són a més de tipus difós, es a dir, que l'aigua ascendent es divideix en superfície a favor de la xarxa de diàclasis i/o fractures menors donant lloc a diverses fonts termals distribuïdes en una àrea més o menys reduïda.

Els diferents sistemes geotèrmics en els Pirineus, segons Beltran (1973), es troben agrupats en diferents nuclis, en el Pirineu Occidental, en el Central i en l'Oriental.

En el **Pirineu Occidental català** trobem el sistema geotèrmic de Les (els balnearis Font de la Mina (25°C) i Font Exterior (30°C) i el riu Garona), el sistema de Caldes de Boi (els balnearis Font de la Estufa (56°C), Termas romanes (50°C), F. dels Banys (45°C), F. Tartera (40°C), F. Llúcia (40°C), F. Canem (33°C), F. Del Bou (37°C) i F. Del Avellaner (30°C), el riu Noguera de Tor i Font del Boix), el sistema d'Arties (el balneari (40°C) i el riu Garona), el sistema de Tredòs (el balneari (38°C) i el riu Aiguamoix) i el sistema d'Espot (la Font del Sofre (28°C) i el riu Peguera).

El **Pirineu Central català** trobem el sistema geotèrmic d'Andorra (Les Escaldes) (la Font del Rentadó (62°C), la F-6 (64°C), la F-4 (51°C) i el riu Madriu), el sistema de Barida (Balneari de Sant Vicente (38°C), F. Del Rec (35°C) i el riu Segre), el sistema de Senillers (el balneari de Senillers (F. del Paidor (30°C), F. Del Riu (28°C), F. Herpética (25°C) i F. De la Montanya (24°C)), el balneari de Caldes de Musa i el Riu Aransér) i el sistema de Ribes de Freser (Font (24°C) i el riu Freser).

El **Pirineu Oriental català** amb el sistema geotèrmic de Nostra Sra. de las Mercedes (el balneari (24°C), el sondeig IBERING (20°C), la font ferruginós i el riu Llobregat) i el sistema de S. Clemente (la font (28°C) i el riu Anyet).

6.1 Descripció geològica de les zones de surgència del Pirineu

6.1.1 Pirineu Occidental Català (Beltran (1973))

El Pirineu occidental català està constituït per intrusions granodiorítiques hercinianes post-cinemàtiques i una successió de materials sedimentaris lleugerament metamòrfics d'edat Paleozoica (Kleinsmiede, 1960).

Aquests materials sedimentaris són conglomerats, quarzites, pissarres i calcàries del Cambro – Ordovicià que formen grans abombaments (de nord a sud: el dom de Bossost, l'anticlinal central i el dom meridional, unitats que es prolonguen cap a l'est). A continuació, el Silurià, constituït per pissarres carbonoses amb un elevat contingut en sofre i nòduls de pirita que en la part superficial intercalen amb capes primes de calcàries negres, i que actuen com a nivell plàstic sent les responsables dels diferents estils de plegament que presenten aquests materials paleozoics pre-hercinians. En el Devonian apareixen quatre unitats, la primera unitat formada per calcàries basals amb intercalacions de sílex negre i gresos, la segona unitat la formen pissarres negre - blavoses que contenen pirita i s'intercalen amb calcàries, la tercera unitat gresos, quarzites i pissarres i finalment la quarta unitat està formada per pissarres verdoses i gresos. I per últim, en el Carbonífer es troben pissarres micàcies localment arenoses. Aquests últims materials Devonians i Carbonífers es troben en les zones sinclinals intermèdies. També apareixen massissos granodiorítics hercinians post-cinemàtics (el principal es el Massís de la Maladeta amb les seves dues prolongacions septentrionals, els massissos d'Arties i Tredós i grans falles hercinianes tardies de direcció est-oest (Bosost, Arties, falla del Jueu, etc.) (figura 20). Així, mentre els materials cambro-ordovicians constitueixen amplis domos de gran longitud d'ona, els devonians, al trobar-se directament sobre les pissarres que van originar el desenganxament, es troben doblegats en plects isoclinals de menor tamany i, especialment els nivells basals, penetren profundament en els nuclis sinclinals.

Així doncs, el Pirineu Occidental Català ve determinat per una sèrie d'unitats interdependents de direcció general E-W (figura 19):

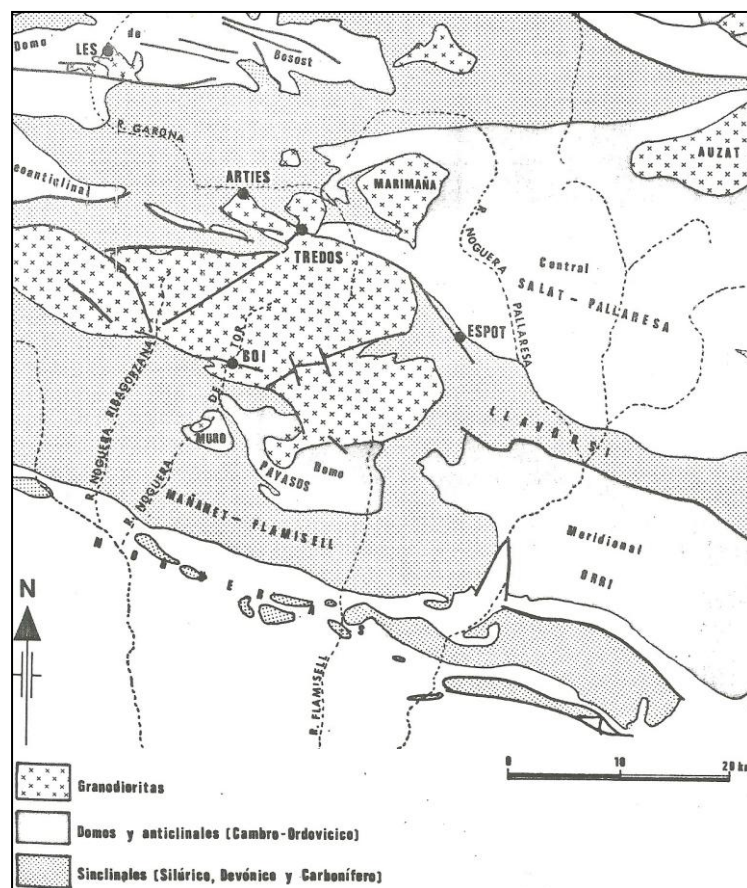


Figura 19: Esquema estructural del Pirineu occidental Català (Hartevelt, 1970)

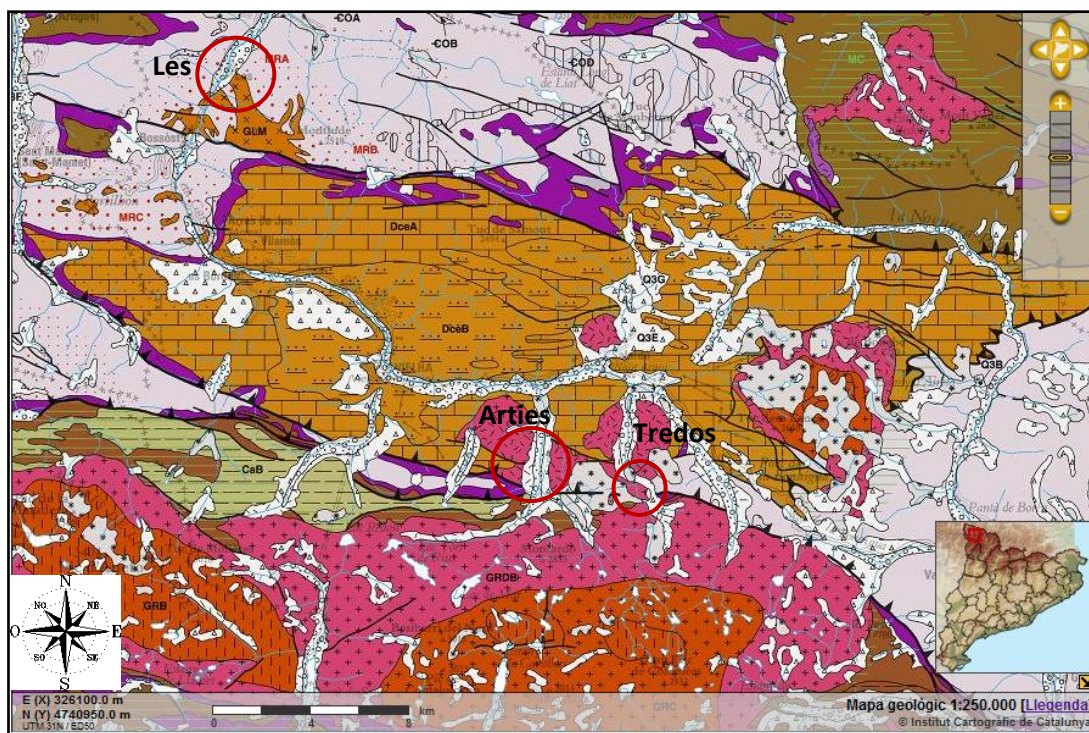


Figura 20: Cartografia geològica del Pirineu Occidental (Institut cartogràfic de Catalunya)

El complex hidrotermal del Pirineu Occidental es el més important d'aquesta serralada ja que comprèn un gran número de surgències distribuïdes predominantment en la Vall d'Aran (Les, Arties i Tredòs), en la Vall del Tor (Caldes de Boí) i en la comarca del Pallars Sobirà (Espot), totes en el nord de la província de Lleida. Aquest complex hidrotermal es prolonga cap el Pirineu d'Osca (Benasque) i França (Bagnères de Luchon). A continuació es caracteritza cada complex hidrotermal i es determina el tipus d'aigües.

El **sistema geotèrmic de Les** es troba situat al nord del massís de la Maladeta a la província de Lleida, el poble queda travessat per el curs alt del riu Garona que neix en les proximitats del massís granodiorític de Tredós i transcorre en direcció NO fins a penetrar en terreny francès.

S'asseu sobre les fàcies metamòrfiques del Cambro – Ordovicià existents al N de la gran falla de Bosost que s'orienta E – O i delimita el gran anticlinal septentrional pirenaic, al N d'aquesta important fractura, del dom de Bosost situat al S d'aquesta, ambdós constituïts per materials cambro – ordovicians predominantment metamòrfics (esquists micàcis, cordierítics i andalusítics) que intercalen granits alcalins amb moscovita (figura 19). Es precisament en el contacte dels esquists amb el granit amb moscovita on apareix la font termal.

Es tracta d'una surgència de llera de tipus difós per dispersió del tronc hidrotermal ascendent a favor de les diàclasis. La temperatura de la font es de 29°C amb un cabal de 0,2 l/s segons Beltran (1998). Aquestes aigües eren utilitzades per un balneari que avui en dia es troba tancat.

A partir de l'anàlisi químic (annex) realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Les en el Riu Garona, en la Font de la Mina (25°C) i en la Font Exterior (30°C) es dedueix la formula iònica (annex) i la classificació de les diferents aigües per aquest complex. Les aigües del Riu Garona es classificarien com a bicarbonatades càlciques i les aigües termals de la Font de la Mina (25°C) i de la Font Exterior (25°C) com a bicarbonatades – sulfatades sòdiques.

La **surgència hidrotermal d'Arties** es localitza a 26 km al SE de Lés, en la conca alta del Garona i completen juntament amb Tredòs i les manifestacions de la població del Garona, el conjunt de manifestacions termals de la Vall d'Aran.

Ambdues es situen en els massissos granodiorítics, que no són més que petites apòfisis septentrionals del gran massís de la Maladeta separats del mateix per fractures NO – SE que pincen d'entre els nuclis granítics materials paleozoics amb metamorfisme dèbil (figura 19).

Les surgències d'Arties es situen en la vora nord del massís granodiorític d'Arties, a 1140 m sobre el nivell del mar. Constitueixen surgències de llera ja que es localitzen en la confluència dels rius Valarties i Garona, al oest d'Arties. La font apareix en una falla de direcció E–O paral·lela al curs del Garona que afecta a les calcàries devonians molt a prop del contacte d'aquestes amb la granodiorita del massís d'Arties.

La temperatura de l'aigua termal d'Arties es d'uns 40°C amb un cabal d'1 l/s i el balneari que explotava aquestes aigües es troba tancat segons Beltran (1998).

L'anàlisi químic (annex) realitzat per Beltran (1973) classifica les aigües termals d'Arties en el Riu Garona com a bicarbonatades – càlciques i en la font termal (40°C) com a bicarbonatada clorurada sòdica.

La **surgència hidrotermal de Tredòs** es localitza a 35 km al SE de Lés, en la conca alta del Garona. El balneari de Tredós que es troba en runes se situa en la vall del riu Aiguamoix, afluent del Garona, a 1700 m sobre el nivell del mar.

El massís granític de Tredòs queda separat per la seva part meridional del de la Maladeta per una cunya de materials cambro – ordovicians, silúrics i devonians que queden pinçats entre ambdós cossos intrusius per fractures de direcció ONO – ESE. Una altra gran falla de direcció NE – SO travessa el massís de la Maladeta per la seva part central que es prolonga des del riu Noguera Ribagorçana en la part sud fins a intersectar el sistema citat

anteriorment en la zona nord (figura 19). Es en l'encreuament d'ambdues fractures on es localitzen les aigües termals de Tredòs associades a calcàries devonianes.

Constitueix també un surgència de fons de vall que queda situada en la intersecció de les fractures amb el riu Aiguamoix. La temperatura d'aquestes aigües es de 35°C amb un cabal de 3 l/s segons Beltran (1998), i el balneari existent es troba tancat.

A partir de l'anàlisi químic (annex) de les aigües termals de Tredòs, el riu Aiguamoix es caracteritza per tenir aigües bicarbonatades càlciques i la font termal (38°C) aigües bicarbonatades sòdiques.

El **complex hidrotermal de Caldes de Boí** és el de major importància a Catalunya per el número de surgències (fins a un total de 37, de les quals 19 estan inventariades i controlades segons Auqué (1996), i per ser l'únic balneari de la regió amb instal·lacions mèdiques i hoteleres adequades, fet que el fan un centre turístic de primer ordre.

Situat en la vora meridional del massís granodiorític de la Maladeta, a 1500 m sobre el nivell del mar, prop del riu Noguera de Tor, afluent del Ribagorçana on les fonts es disposen a les proximitats de la llera del riu.

Es troba en una fractura N- S al llarg del curs alt del Noguera de Tor aprofitada pel riu per a excavar la seva llera i on l'aigua termal ascendeix per arribar a la superfície. Existeix una gran falla perifèrica en la part del Massís de la Maladeta en direcció ONO – ESE des del Noguera Ribagorçana fins al Noguera de Tor, i es en la intersecció de la llera del riu amb el pla de falla on apareixen les surgències termals (figura 19). Constitueixen també clars exemples de surgències de fons de vall amb temperatures de 50°C i cabals superiors als 5 l/s segons Beltran (1998).

Les variacions de temperatura i quimisme entre les fonts d'aquest sistema són indicatius de la presència de processos de mescla (Auqué (1993)) de les aigües termals amb altres aigües més superficials i més fredes.

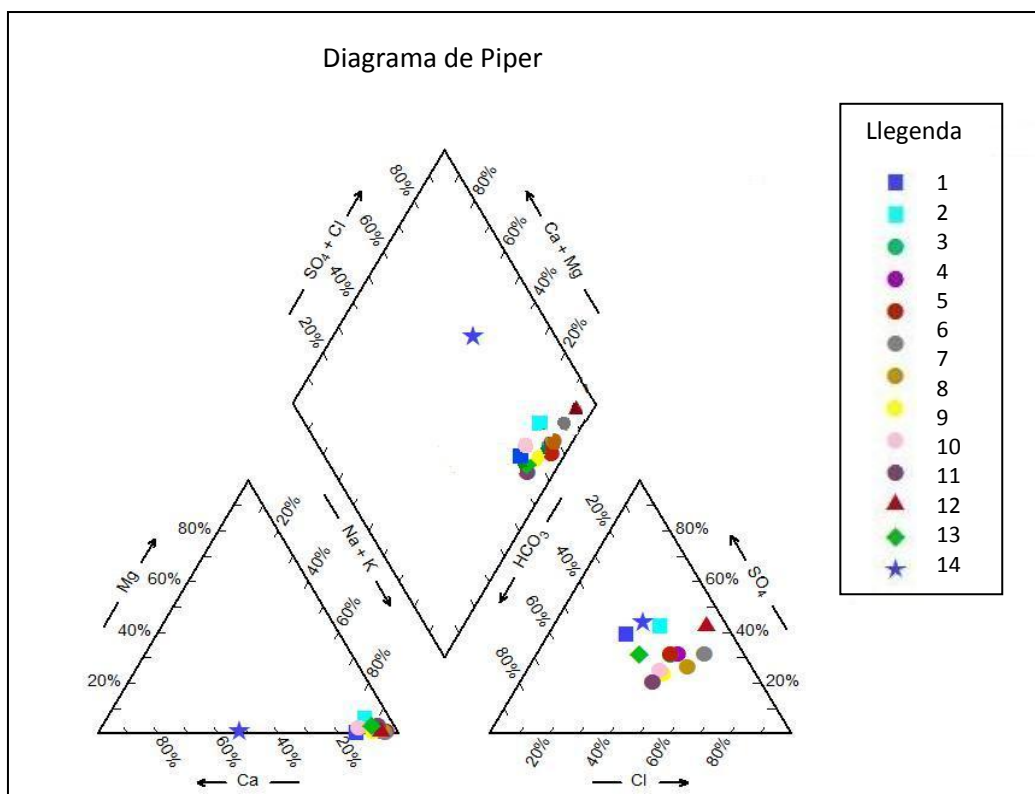
A partir de l'anàlisi químic (Annex) de les aigües de Caldes de Boí, en el riu Noguera de Tor es troben aigües bicarbonatades càlciques, en la Font de l'Estufa (56°C), en les Termes Romanes (50°C), en la Font dels Banys (45°C), en la Font de la Tartera (40°C) i en la Font Llucia (40°C) es troben aigües clorurades sulfatades sòdiques i en la Font del Canem (33°C), la Font del Bou (37°C) i en la Font de l'Avellaner (30°C) aigües clorurades bicarbonatades sòdiques.

El **complex hidrotermal d'Espot** es troba emplaçat en la comarca del Pallars Sobirà, a 1320m sobre el nivell del mar i a uns 5 km a la dreta del curs del Noguera Pallaresa, entre els pobles d'Escaló i Esterri d'Àneu. La font (Font del Sofre) es troba a 1,5 km d'Espot, en la vessant esquerra de la vall per la que transcorre el riu Peguera, afluents del S.Maurici.

Sota el punt de vista geològic, la manifestació termal queda situada en l'extrem occidental del sinclinal de Llavorsí, en la línia de fractura que limita la vora nordoriental del massís granodiorític de la Maladeta amb l'anticlinal central (Salat – Pallaresa) i que es prolonga cap al S-E penetrant en el citat sinclinal. L'aigua sorgeix prop del contacte dels esquistos carbonífers que constitueixen el nucli aflorant del sinclinal amb les pissarres i calcàries devonians inferiors, amb una temperatura de 26°C i un cabal de 0,3 l/s segons Beltran (1998).

L'anàlisi químic (Annex) realitzat per Beltran (1973) caracteritza les aigües termals d'Espot per al Riu Peguera de bicarbonatades càlciques i per al font termal (28°C) de bicarbonatades sulfatades sòdiques.

A partir dels anàlisis químics realitzats per Beltran (1976) que es mostren en l'annex es realitza el diagrama de Piper (Gràfic 1) que s'observa a continuació que ens mostra que en el Pirineu Occidental dominen les aigües bicarbonatades sòdiques excepte en el cas d'Espot que destaca per presentar aigües bicarbonatades càlciques.



Gràfic 1 : Diagrama de Piper per a les fonts termals del Pirineu Occidental (1:Font de la Mina, Les; 2: Font Exterior, Les; 3: balnearis Font de la Estufa, Caldes de Boí; 4: Termas romanes, Caldes de Boí; 5: F. dels Banyes, Caldes de Boí; 6: F. Tartera, Caldes de Boí; 7: F. Lluçia, Caldes de Boí; 8: F. Canem, Caldes de Boí; 9: F. Del Bou, Caldes de Boí; 10: F. Del Avellaner, Caldes de Boí; 11: Font del Boix, Caldes de Boí; 12: Balneari, Arties; 13: Balneari, Tredos; 14: Font del Sofre, Espot). (Dades procedents de l'Annex, Beltran (1976))

6.1.2 Pirineu Central Català (Beltran (1973))

En el Pirineu central, de oest a est trobem els següents complexos hidrotermals: Les, Escaldes (Andorra), Baridà (F. Del Rec i S. Vicente) – Senillers i per últim Ribes de Freser.

El Pirineu central està constituït de la mateixa manera que en el Pirineu Occidental per un conjunt de nuclis granodiorítics intrusius i una sèrie paleozoica amb les següents unitats litoestratigràfiques en ordre ascendent (Hartevelt, 1970).

El Cambro-Ordovicià, amb la **formació Seo** (en la part basal) constituïda per una alternança de pissarres, llims i sorres d'escala mili o centimètrica amb intercalacions més potents de quarsites que localment presenten laminació encreuada. Per sobre apareixen els **conglomerats de la Rabassa** per quars, quarsita i pissarres envoltats d'una matriu verdosa

de limonita i pissarra. Seguidament, la **formació Cavá**, que s'encunya progressivament en direcció nord i formada per grauvaques, gresos, limolites i microconglomerats en la base, pissarres vermelles i verdes, limonites amb braquiòpodes i finalment, en el sostre quarsites. Per sobre apareix la **formació Estana**, constituïda per calcàries grises riques en braquiòpodes, briozous, gasteròpodes, lamelibranquis i coralls. La **formació Ansobell**, està formada per pissarres negres molt homogènies amb la presència de pirites. I finalment, la **quarsita de Bar** constituïda per una barra de quarsita de 8 a 18 m de potència.

Aquest materials cambro -ordovicians formen grans estructures plegades que arriben a tenir longituds d'ona de 6 a més de 20 km.

En el Silurià trobem pissarres carbonoses (que contenen graptòlits, ortocèrids i alguns trilobites) amb fines intercalacions de capes de calcàries negres. Aquesta formació actua com a superfície de desenganxament de les principals estructures degut a la plasticitat de les pissarres silúriques.

Per sobre les pissarres Silúriques trobem els materials del Devonian que de base a sostre està constituït per la **formació Rueda**, formada per una alternança de calcàries amb pissarres negres. Es troben crinoïdeus, ortocèrids, coralls, tentaculítids i conodonts. Per sobre es troba la **formació Basibé** constituïda per calcàries massives amb acumulacions locals de pirita. Es troben conodonts. La **formació Fonchanina** formada per pissarres negres que intercalen algun petit banc de calcàries. Seguidament apareix la **formació Villech** formada per una seqüència de pissarres vermelloses i calcàries. Són abundants els crinoïdeus, ortocèrids, ammonítids, coralls tentaculítids i conodonts. La **formació Mañanet**, constituïda per una seqüència de calcàries noduloses multicolors amb intercalacions de pissarres. I finalment, la **formació Compte** formada per dos paquets de calcàries grises noduloses que intercalen un altre paquet de calcàries noduloses de color vermell fosc, per bretxes intraformacionals i nòduls de les calcàries vermelles centrals que engloben amb freqüència goniatites.

En el Carbonífer Pre-hercinià apareix la **formació Bellver** formada per un estrat prim de sílex negre sobre el que sol trobar-se un banc de calcàries noduloses. A continuació es

troba una potent seqüència de pissarres negres amb intercalacions d'arenisques amb abundants estructures sedimentàries. Intercala, a vegades, llentillons de conglomerats, que en ocasions abasten tota la formació. Apareixen conodonts. Seguidament apareix la **formació Civis** constituïda per pissarres negres amb intercalacions locals d'estrats arenosos i calcàris.

Els materials relativament poc potents del Devonià i del Carbonífer es troben intensament plegats en els sinclinals amb longituds d'ona entre 50 i 200 m. Per tant, existeix una disharmonia entre l'estil de plegament dels materials Cambro - Ordovicians i els del Devonià i Carbonífer pre-hercinià a conseqüència de la plasticitat de les pissarres del Silurià. Aquestes diferències de comportament condicionen una estructura de grans domos anticlinals i sinclinals generalment més estrets (figura 21).

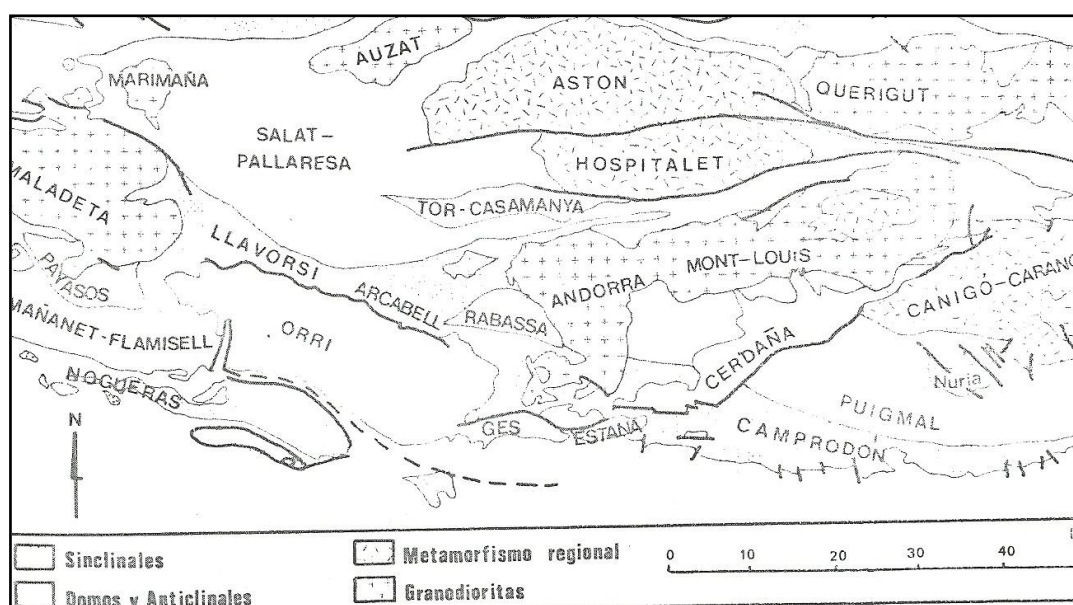


Figura 21: Esquema estructural del Pirineu Central (Hartevelt (1970))

Segons Hartevelt (1970), aquestes grans estructures pertanyen a la primera fase de deformació herciniana. Existeixen tres deformacions més que es tradueixen en plects E-O i kink-bands de direcció NE-SO, la tercera deformació consisteix en plects de direcció NO-SE, i la quarta, plects E-O sent aquestes dues de caràcter més local.

En el Carbonífer post - hercinià trobem la **formació Aguiró** constituïda bretxes amb fragments del basament hercinià sobre el que es troben discordants, la **formació Erill-Castell**

formada per tobres volcàniques i colades andesítiques discordants sobre les bretxes de la formació Aguiró i la **formació Malpás**, constituïda per gresos groguencs alternats amb grauvaques, conglomerats i fines capes de carbó.

I finalment, en el Permià, amb la **formació Peranera** formada per tres membres: bretxes, grauvaques i gresos a la base, limolites i gresos amb intercalacions calcàries en la part central, i en la part superior lutites amb abundants mud-cracks. Sobre aquesta formació reposen discordants els materials del Buntsandstein.

Les roques intrusives són granodiorites hercinianes post - cinemàtiques de grà mig constituïdes per quars, plagiòclasi (labradorita - oligoclasa), ortosa i biotita com a minerals principals. Localment es troben piroxens i hornblenda. Com a minerals accessoris destaquen el zircó, apatita i titanita. Són freqüents la sericita, clinozoïcita i la clorita com a minerals secundaris. Els filons estan integrats per aplites, lampròfirs, pòrfirs granodiorítics i pòrfirs quarsítics. Les aureoles de contacte presenten gruixos que oscil·len entre 150 i 1500 m.

El metamorfisme de contacte relacionat amb les intrusions granodiorítiques es posterior a la segona deformació, ja que afecten a l'esquistositat S_2 . Per altra banda, les falles hercinianes afecten principalment al Cambro-Ordovicià i a les granodiorites, predominant la direcció de fractura NO-SE i sent posteriors a la segona fase de deformació.

El complex hidrotermal del Pirineu Central comprèn el complex hidrotermal d'Andorra, el de Baridà – Senillers i el complex de Ribes de Freser (Figura 22).

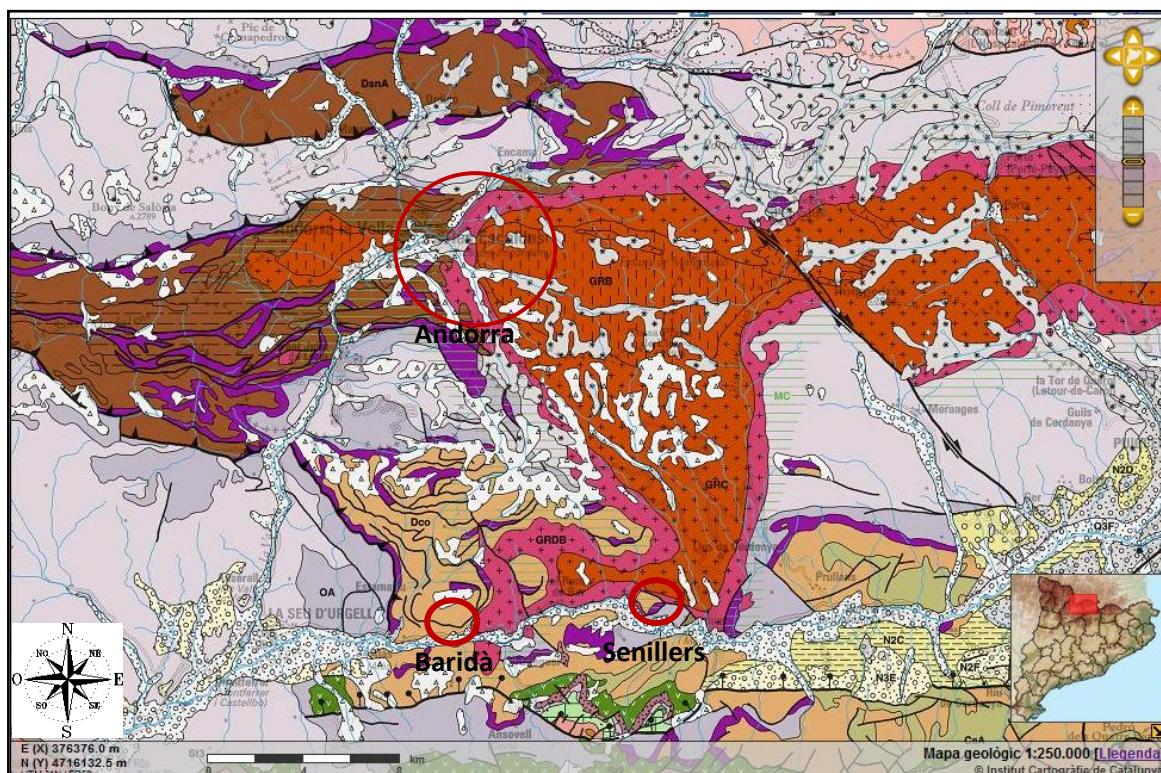


Figura 22: Cartografia geològica del Pirineu Central (Institut cartogràfic de Catalunya)

El **complex hidrotermal d'Andorra** es troba a Les Escaldes a uns 2 km de la capital d'Andorra la Vella, encara que en l'actualitat Les Escaldes són la prolongació de la pròpia capital andorrana.

Andorra queda situada en plena zona axial pirenaica i està constituïda en la seva part oriental per la vora SO del massís granodiorític que porta el seu nom, massís que es prolonga en direcció NE fins endinsar-se a França i constituir el límit NO del Canigó. La part occidental queda travessada per tres grans unitats estructurals alineades d'est a oest: el dom de la Rabassa al sud (materials cambro – ordovicians), el sinclinal de Llavorsí (sediments carbonífers de la formació Civís en el centre i devonians de les formacions Mañanet i Fonchanina en les vores), i finalment, al nord, el dom de la Massana (materials cambro – ordovicians).

Chevalier (1924), en un estudi general sobre les Valls d'Andorra, cita un total de 18 surgències en la zona de confluència del riu Valira i Madriu a 1060 m sobre el nivell del mar. Avui en dia resulta pràcticament impossible localitzar-les totes i inclús conèixer el seu cabal i

temperatura d'algunes d'elles ja que en la major part s'han efectuat treballs de captació per a abastir hotels, complexes esportius o convertir-les en fonts públiques, per el que alguns cabals i la major part de les temperatures queden falsejades en ocasions, fins i tot resulta impossible la presa de mostres i les determinacions in situ de pH, temperatura i cabal.

La emissió hidrotermal sembla donar-se a favor de la gran fractura que passa per Santa Coloma després de mantenir-se paral·lela al curs del riu Valira i es prolonga més de 15 km cap al oest pinçant les pissarres silúriques entre els materials carbonífers de la formació Civís o entre aquests i les calcàries i calcoesquistes de la formació Mañanet. A Les Escaldes, la falla posa en contacte els materials carbonatats de la formació Mañanet i les granodiorites intrusives del massís d'Engolasters.

Les fonts es localitzen pràcticament tots a cota de les lleres del riu Valira i Madriu constituint típiques surgències de fons de vall ja que l'aigua emergeix just a la mateixa llera del riu, on el fluid termal, en el seu circuit ascendent, ha de vèncer la mínima pressió per a poder arribar a la superfície.

Un altre condicionant de la localització a petita escala de les fonts es la existència de dos grans dics de quars en la vora granítica. Es tracta doncs d'una emissió termal difusa emplaçada en una vora intrusiva i a més fallada per el que ascendeixen les aigües dispersant-se en superfície a favor de la xarxa de diàclasis i dels dics de quars, que actuen com a pantalla impermeable.

La temperatura màxima registrada es de 64°C en la F6, encara que segons Chevalier alguna arribava a 66°C. Si a aquest fet s'afegeixen les captacions privades que no han pogut controlar-se i que també existeix distribució urbana de l'aigua termal en fonts públiques, s'entendrà fàcilment la impossibilitat d'estimar cabals totals d'emissió, encara que es pot xifrar amb total seguretat de superiors a 300 l/min Beltran(1973).

L'anàlisi químic (annex) realitzat per Beltran (1973) mostra aigües bicarbonatades càlciques per al Riu Madriu i aigües bicarbonatades sòdiques per la Font del Rentadó (62°C), la font termal F-6 (64°C) i la font termal F-4 (51°C).

El **complex termal de Baridà-Senillers** es troba situat en la zona axial del Pirineu central català, en la vora nord – oriental de la província de Lleida. Limitat al Nord per el massís paleozoic de Puigpedrós, on la divisoria d'aigües constitueix la frontera amb França i Andorra, i al sud, amb la Serra del Cadí. El curs alt del Segre transcorre en direcció E–O per una vall estreta entre aquestes dues grans unitats topogràfiques. Els seus límits oriental i occidental els constitueixen dues depressions terciàries, la de la Cerdanya i la de l'Urgellet, respectivament. En aquesta vall encaixada on es troben les surgències es coneix amb el nom de Baridà (figura 23).

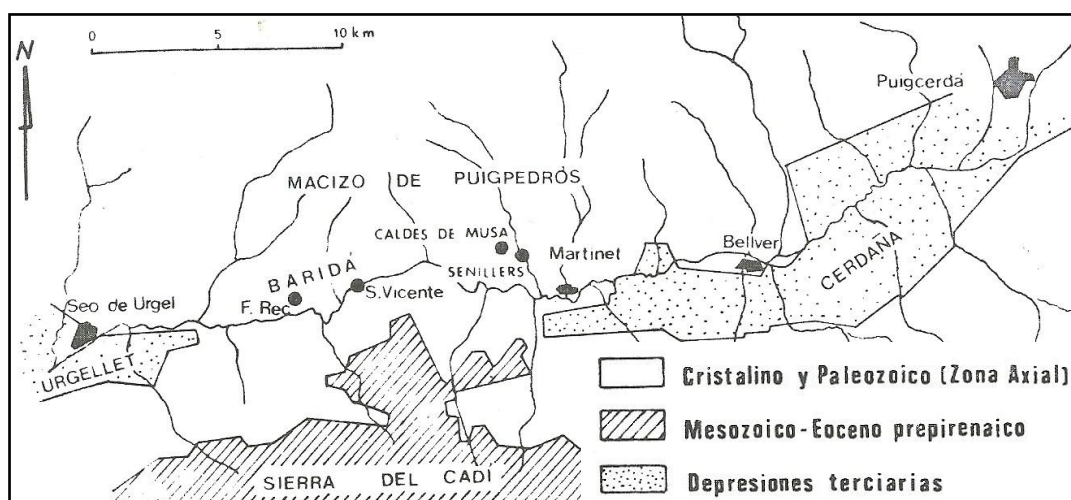


Figura 23: Situació del complex hidrotermal de Baridà (Beltran (1973))

Aquesta zona està formada per materials paleozoics predominant en la part nord del Segre les granodiorites del massís d'Andorra, i en la part sud, abunden els materials paleozoics pre- hercinians. A l'est i oest reompliments terciaris de les depressions de la Cerdanya i l'Urgellet.

El Baridà coincideix amb la vora de contacte entre la zona axial pirenaica i la seva cobertura sedimentaria mesozoica- eocena. Aquesta zona estreta entre les dues depressions terciàries mencionades es troben fractures.

En la part més occidental del Massís de Baridà es troben les manifestacions termals de la Font del Rec (situada més a l'oest i més a prop de la Seu d'Urgell) i la Font de S.Vicenç. La Font del Rec es troba en el granit que es troba en un petit desnivell d'un metre

aproximadament i circula fins a un canal de reg. La Font de S.Vicenç, situada a 850 m sobre el nivell del mar, constitueix la emissió central del Baridà, la font es troba juntament a un edifici balneari i a unes desenes de metres sobre la llera del Segre. En el Massís de Baridà l'aigua termal que s'utilitza es de la font de Sant Vicenç i el seu ús es per al Balneari.

La emissió hidrotermal es manifesta amb un cabal aproximat de 4,5 l/s per St. Vicenç segons Beltran (1998), a una temperatura de 38°C i >9 l/s per la F. del Rec a una temperatura de 33°C. Les surgències es troben en materials granodiorítics, concretament en la falla perifèrica de massís granític.

En la vora oriental del Baridà junt amb la depressió de la Cerdanya queda limitat per un contacte per falla entre la granodiorita i el Paleozoic pre–hercinià existent en les proximitats de Martinet. Una altra fractura important de direcció SO–NE, quasi perpendicular a aquesta i d'uns 5 km de longitud s'estén des del sud de Toloriu fins Travesseres posant en contacte els materials del devonià amb els cambro–ordovicians.

Aquest complex hidrotermal està integrat per cinc fonts: quatre en el balneari de Senillers a 1040 m sobre el nivell del mar que pertanyen al municipi de Lles, i un últim a la dreta del riu, al terme municipal de Musa, 100 metres per sobre de les anteriors on estava ubicat el balneari de Musa, avui en dia en runes.

Les surgències es troben alineades segons la falla de Travesseres i distribuïdes a ambdós costats del curs del riu Aranser que descendeix perpendicular a la fractura. Mentre la aparició de les fonts de Senillers ve determinada per la intersecció de la falla amb el traçat del riu (fonts de fons de vall), a Caldes de Musa el condicionant es un potent dic de pòfir que travessa la granodiorita en direcció quasi perpendicular a la fractura i, per tant, al curs del riu Aranser.

La emissió hidrotermal de Senillers es manifesta amb un cabal de 0,8 l/s a una temperatura de 30°C segons Beltran (1998). Aquesta aigua hidrotermal s'utilitza per a Balneari. La font de Musa té un cabal de 0,1 l/s a una temperatura de 22°C i actualment el balneari es troba en runes.

L'anàlisi químic (annex) indica per a les aigües termals de Baridà, aigües bicarbonatades càlciques en el riu Segre i aigües bicarbonatades sòdiques per el balneari de Sant Vicenç (38°C) i per la Font del Rec (35°C).

L'anàlisi químic (annex) per a les aigües termals de Senillers mostra aigües bicarbonatades càlciques en el riu Aranser i per a Caldes de Musa (14°C) (termal residual), la Font del Paidor (30°C), la Font del Riu (28°C), la Font Herpèctica (25°C) i la Font de la Muntanya (24°C) aigües bicarbonatades sòdiques.

El complex hidrotermal de Ribes de Freser constitueix una manifestació termal aïllada situada a la província de Girona. Es localitza al sud de la població de Ribes de Freser, junt al marge esquerre del riu Freser a 810 m sobre el nivell del mar.

Es tracta de l'única font termal pirenaica que no sorgeix d'entre els materials cristal·lins de la zona axial, ja que queda emplaçat més al sud, pràcticament en el contacte de les formacions permotriàsiques i garumnenses amb la potent sèrie eocena prepirenca.

La surgència es localitza en un plec-falla (figura 24) que afecta a les barres de calcàries garumnenses, les quals separen els materials vermells permotriàsics de les margues ilerdenses del Mb. Sagnari. El curs del riu Freser transcorre en direcció N-S i talla quasi perpendicularment a aquesta estructura apareixent el fenomen hidrotermal en la intersecció del pla de falla amb la llera del riu. Per tant, constitueix també una surgència de llera.

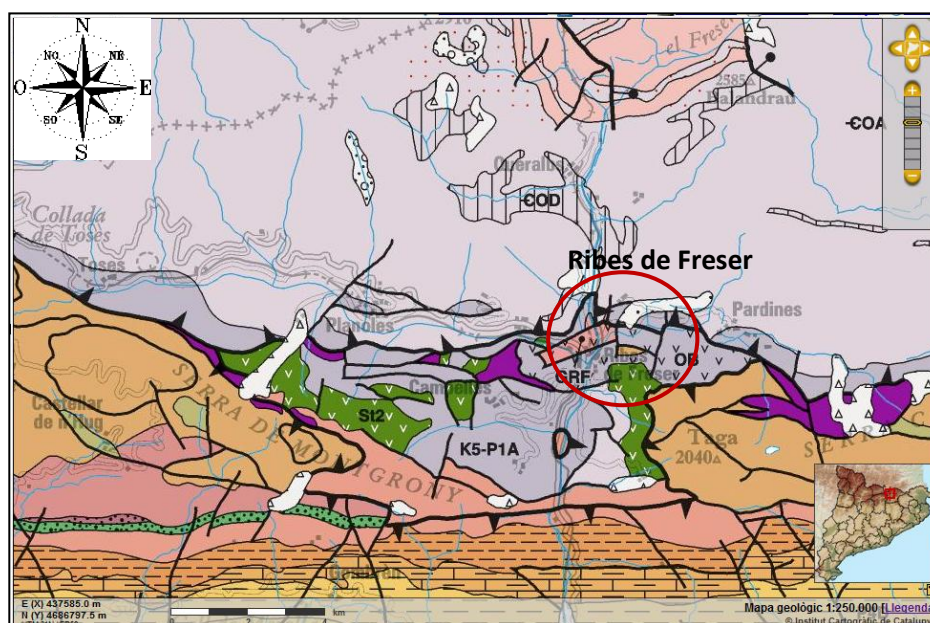
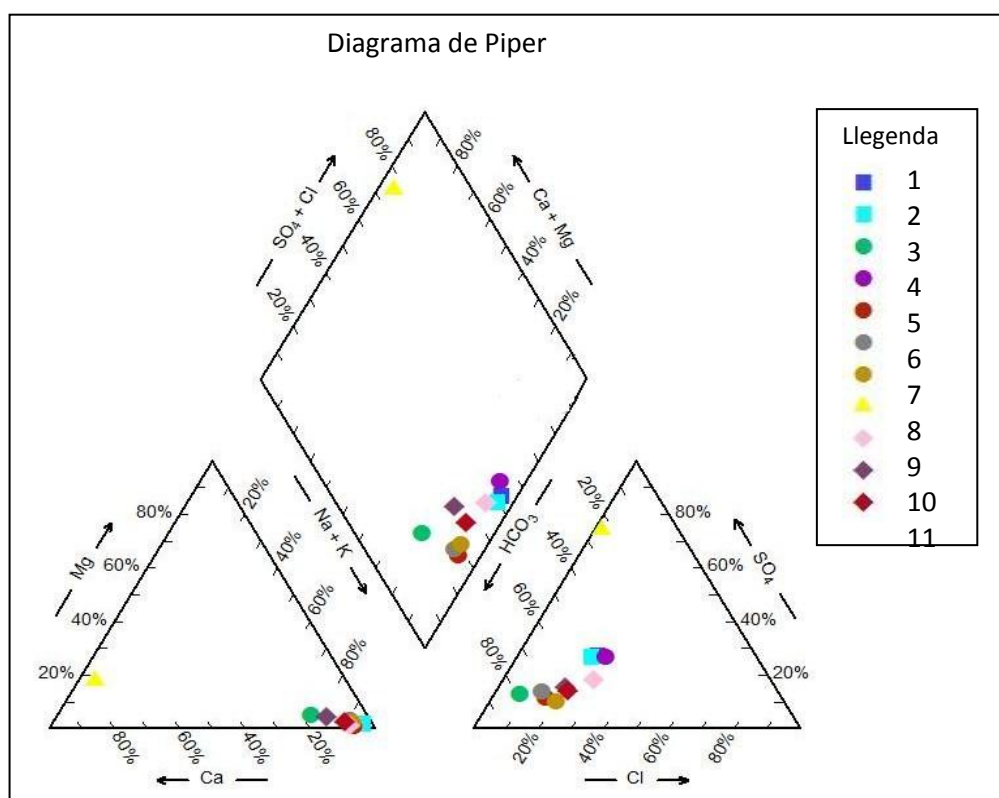


Figura 24: Cartografia geològica del Pirineu Central (Institut cartogràfic de Catalunya)

La emissió hidrotermal es manifesta en forma de diverses fonts que apareixen al marge esquerre del curs del riu. La temperatura de la sortida es d'uns 25°C i el cabal d'uns 75 l/s segons Beltran (1998). En aquesta zona l'aigua termal s'havia utilitzat per al banyar que avui en dia es troba en runes.

L'anàlisi químic (annex) de les aigües termals de Ribes de Freser per el Riu Freser mostra aigües bicarbonatades càlciques i per la font termal (24°C) aigües sulfatades càlciques.

El diagrama de Piper (Gràfic 2) a continuació realitzat a partir dels anàlisis de Beltran (1976) que es troben en l'annex mostra que dominen les aigües termals de caràcter bicarbonatada sòdica exceptuant el cas de Ribes de Freser que presenta aigües sulfatades càlciques.



Gràfic 2 : Diagrama de Piper per a les fonts termals del Pirineu Central (1: Balneari St. Vicente, Baridà; 2: Font del Rec, Baridà; 3: font del Paidor, Senillers; 4: Font del Riu, Senillers; 5: Font Herpèctica, Senillers; 6: Font de la Montanya, Senillers; 7: Balneari Caldes de Musa, Senillers; 8: Font termal, Ribes de Freser; 9: Font del Rentadó, Andorra; 10: F6, Andorra; 11: F4, Andorra) (Dades procedents de l'Annex, Beltran (1976))

6.1.3 Pirineu Oriental Català (Beltran (1973))

Les fonts termals de N^a Sra. De las Mercedes i S. Climent constitueixen les manifestacions termals més orientals del Pirineu. Ambdós fonts es situen al nord de la província de Girona a uns 15-20 km de la frontera francesa.

Sota el punt de vista geològic, les surgències es situen en la vora meridional del massís granodiorític de la Jonquera, molt a prop del contacte amb el reompliment plio - quaternari de l'Empordà.

Aquest massís està constituït per granodiorites i granits calcoalcalins amb abundants enclavaments en les vores N i NE i queda envoltat fins la costa mediterrània per una sèrie de zones de metamorfisme progressiu des de la zona de la clorita fins a l'andalusita, sillimanita i inclús migmatites.

Tota aquesta zona queda travessada per dos sistemes de fractures dominants, un E–O i l’altre NNO–SSE que afecten també als materials terciaris de l’extrem septentrional de l’Empordà. Es en aquestes fractures on es troben les fonts termals que s’expliquen a continuació (figura 25).

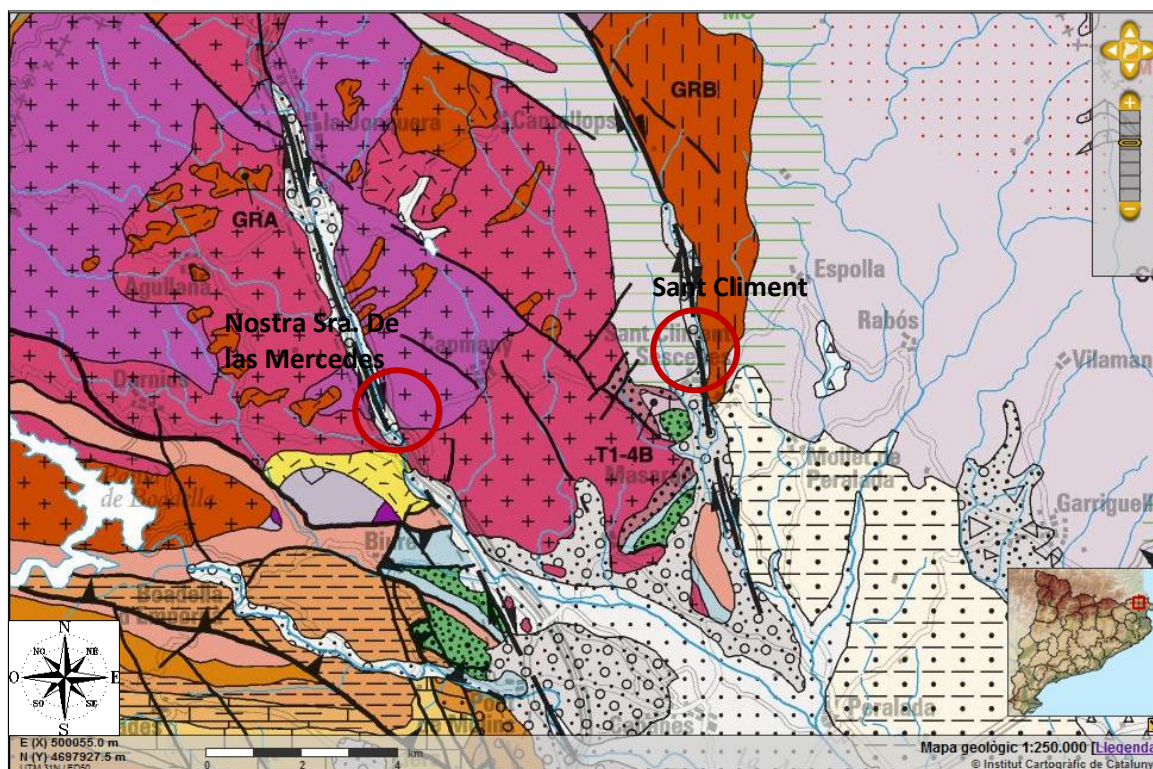


Figura 25: Cartografia geològica del Pirineu Oriental (Institut cartogràfic de Catalunya)

La font termal de N^a Sra. De las Mercedes es troba en el terme municipal de Campany a uns 15 km de la frontera francesa a 80 m sobre el nivell del mar.

Són dues les fonts existents amb temperatures de 24°C i cabals de 0,1 l/s segons Beltran (1998) i on es troba avui en dia l’hotel Merçè que aprofita aquestes aigües. Ambdues fonts es troben al marge esquerre del la llera del Llobregat, afluent del Muga, i apareixen degut a la fractura que travessa en direcció NNO–SSE tot el massís granodiorític de la Jonquera i que ha sigut aprofitada pel riu Llobregat per a excavar la seva llera (figura 26).

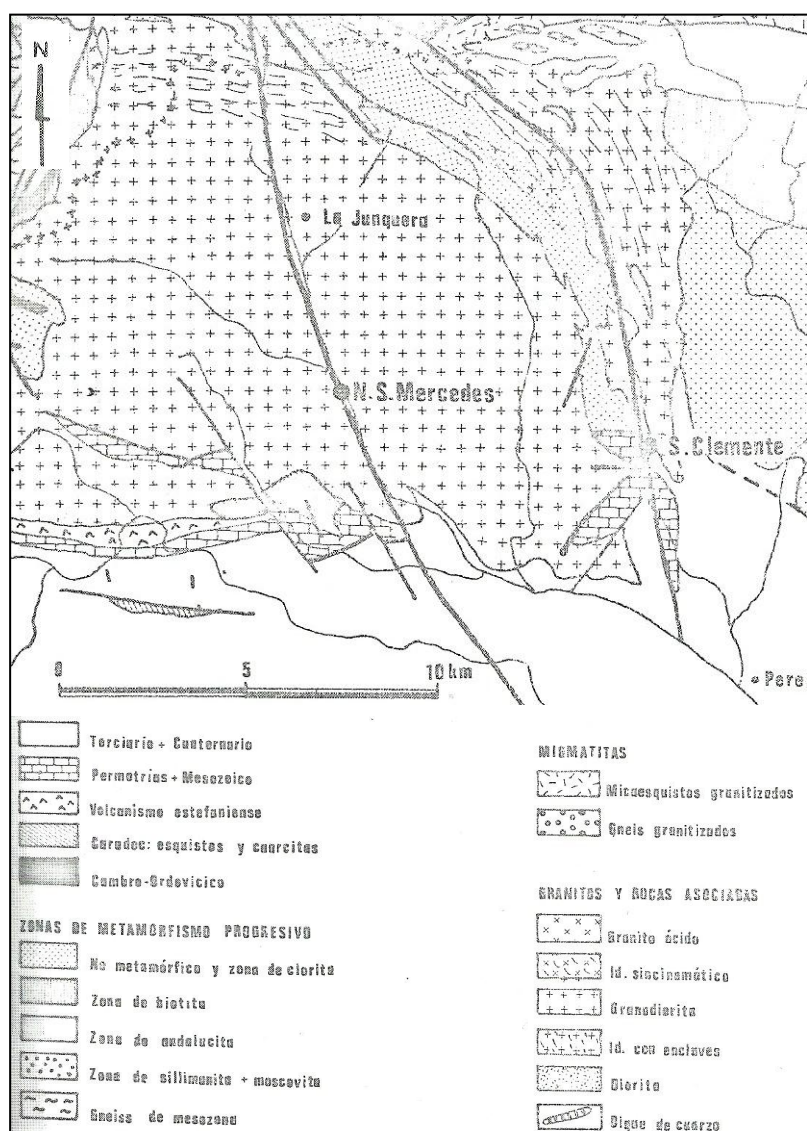


Figura 26: Esquema estructural del Pirineu Oriental (Beltran (1973))

La circulació ascendent de l'aigua termal es deu a la zona de fractura i es manifesta en superfície junt a la llera del riu, on s'observa en el seu fons la clara emissió de bombolles que produeix la sortida de l'aigua termal.

A partir de l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de N^a Sra. De las Mercedes les aigües termals per al Riu Llobregat es classifiquen com a bicarbonatades càlciques, per la font ferruginós bicarbonatades calco-sòdiques i per al Balneari (20°C) i per el sondeig Ibering (20°C), bicarbonatades sòdiques.

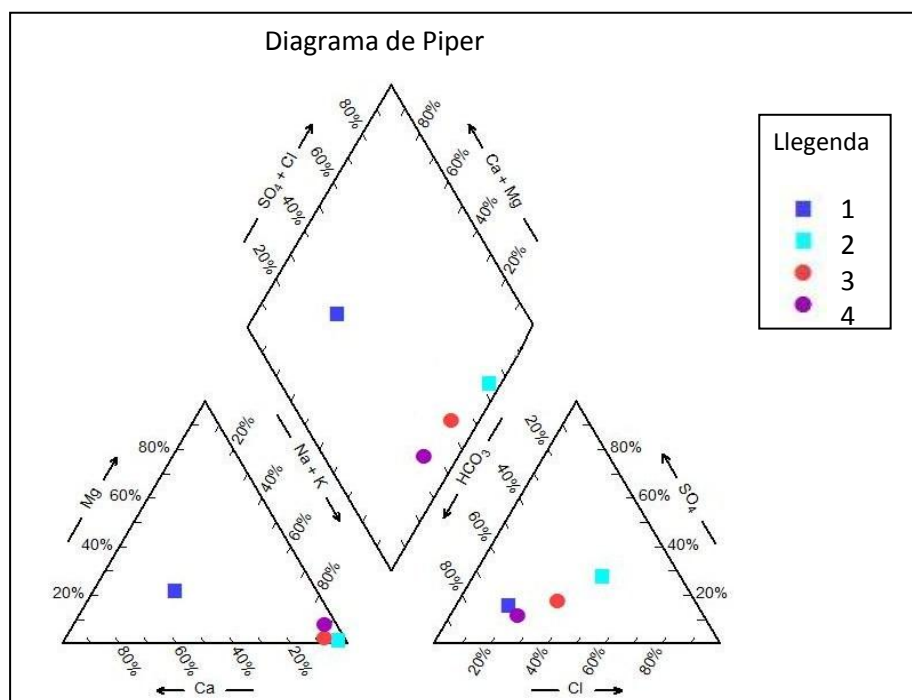
La surgència de S. Climent de Sescebes es localitza al marge esquerre de la llera de l'Anyet, afluent del Llobregat, justament a la sortida d'aquesta població en direcció Campany.

Aquesta població queda emplaçada en la vora oriental del massís granodiorític de la Jonquera, en el contacte d'aquests materials amb el reompliment terciari de la depressió de l'Empordà. La surgència, igual que en el cas de N^a Sra. De las Mercedes, està relacionada amb una altra gran fractura quasi paral·lela que voreja l'extrem nord-oriental del massís de la Jonquera i afecta a les granodiorites del massís o bé les posa en contacte amb la zona de la clorita del metamorfisme progressiu.

Constitueix clares surgències de llera que es localitzen en el mateix riu Anyet. En aquesta zona s'ha efectuat una petita obra de captació que deriva part d'aquesta aigua a una petita font pública i a varis safareigs públics situats al marge esquerre del riu. El cabal d'aquestes aigües es de 0,3 l/s i a temperatures de 28°C segons Beltran (1998).

L'anàlisi químic (annex) realitzat de les aigües termals de Sant Climent mostra aigües bicarbonatades sulfatades càlciques per al Riu Anyet i aigües bicarbonatades sòdiques per al Font termal (28°C).

Observant el diagrama de Piper (Gràfic 3) de les aigües termals del Pirineu Oriental veiem que domina el component bicarbonatat càlcic exceptuan el Balneari de Nostra Sra. De las Mercedes que presenta aigües bicarbonatades calco-sòdiques.



Gràfic 3 : Diagrama de Piper per a les fonts termals del Pirineu Oriental (1: Balneari, Nostra Sra. De las Mercedes; 2: Sondeig IBERING, Nostra Sra. De las Mercedes; 3: font Ferruginosa, Nostra Sra. De las Mercedes; 4: Font, St. Climent). (Dades procedents de l'Annex, Beltran (1976))

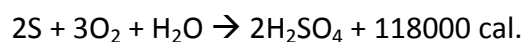
6.2 Característiques químiques de les aigües termals del Pirineu

Segons Beltran (1973), en la major part de les fonts termals es dona un desprendiment de H_2S i una abundant comunitat bacteriana que adopta la característica en les aigües d'una massa gelatinosa blanca en la sortida de les aigües de la font i en les zones pròximes per on transcorren les aigües del mateix.

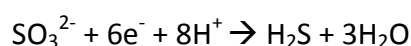
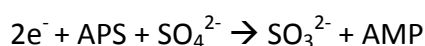
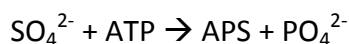
Es tracta de colònies de bacteries sulfooxidants pertanyents als gèneres *Beggiatoa* i *Thiothrix* que oxiden el H_2S a S incorporant-lo al seu citoplasma segons la fórmula:

$2 H_2S + O_2 \rightarrow 2S + 2H_2O + 41000 \text{ cal.}$, energia que aprofiten per a sintetitzar compostos carbonatats.

En el cas que esgotin el H_2S del medi, oxiden el sofre del seu propi citoplasma enriquint l'aigua en sulfats segons la fórmula:



Aquestes colònies generalment son simbiòtiques amb altres microorganismes sulforeductors (*Sporovibrio*) que tanquen el cicle reduït en medi anaerobi el sulfat de l'aigua a H_2S , que es el que confereix el caràcter sulfurós de les aigües citades en els apartats anteriors. La reacció que té lloc es:



ATP = adenosin-tri-fosfat

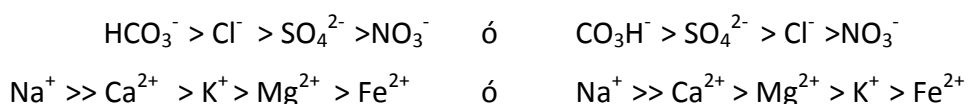
AMP = adenosin-mono-fosfat

APS = adenosin-fosfo-sulfatasa

El sulfat és, per tant, el compost utilitzat per les bactèries reductores per oxidar la matèria orgànica que consumeixen, implicant una alliberació de CO_2 , enriquint lleugerament l'aigua en HCO_3^- i donant lloc a un precipitat de CaCO_3 .

Aquest descens de la quantitat de Ca^{2+} motivada per la reducció de sulfats s'aprecia en les fonts de Les, Andorra, Baridà i en alguns de Caldes de Boí. Les aigües d'una mateixa localitat són idèntiques excepte en els continguts de Ca^{2+} i SO_4^{2-} que descendeixen per efecte bacterià.

En els Pirineus, totes les aigües termals presenten una gran homogeneïtat química quantitativa i qualitativa. Es tracta d'aigües bicarbonatades sòdiques de circulació granítica i fórmula iònica:



Es caracteritzen per un elevat contingut en sodi (80-97% del total de miliequivalents de cations) i en sílice (fins a 214 ppm).

Per tant, aquestes aigües són abundants en cations mentre que els anions presenten una major dispersió. No obstant, els clorurs i sulfats sempre estan en relació molt pròxima, i és fàcil que es sobrepassin mútuament els seus valors i la forma aniònica adopti les dues formes esmentades anteriorment. Pel que fa a la relació catiònica, el total predomini del sodi sobre la resta de cations motiva que les concentracions d'aquests siguin ínfimes i lleugeres diferències entre el potassi i el magnesi es tradueixin en un canvi de relació iònica, totalment intranscendent a l'hora de fer interpretacions.

La variabilitat del clorur està condicionada pel comportament típicament mòbil d'aquest element. Això implica que els seus continguts en les solucions termals depenen, fonamentalment, dels que presentin les aigües meteòriques de recàrrega dels sistemes poden establir-se inclús dependències de les precipitacions com a causa de la variabilitat de concentracions de clorur (Michard i Fouillac, 1980). La variació del calci es justifica per l'existència de processos de reequilibri durant l'ascens de les solucions termals (Auqué et al., 1996).

El grau de mineralització de les aigües es molt baix (100-300 ppm de residu sec), fet que unit al predomini de sodi sobre la resta de cations condiciona valors baixíssims de duresa compresos entre 4 i 18 ppm de CaCO_3 .

Els fenòmens de reducció bacteriana amb despreniment de H_2S són generals en tot el Pirineu, així com el valor de $\text{pH} = 8,5$ que sobrepassa lleugerament el viratge de bicarbonatat a carbonatat establert en 8,3.

Les aigües de Caldes de Boí es presenten diferents sota el punt de vista qualitatiu aniònic, ja que són de naturalesa clorurada – sulfatada càlcica. Partint de la base que aparèixen en l'interior del massís granodiorític de gran extensió de la Maladeta i que la relació $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ es per a tots les fonts de 1,9 mentre que en la resta del Pirineu, associats també a granits, oscil·la entre 3 i 6, pot pensar-se en una major riquesa de clor en el citat massís o almenys en una part afectada per el circuit termal bé per l'existència de feldspatoides tipus sodalita o per reemplaçament de clor en els OH^- de les biotites i hornblendes.

Dos fonts del grup de Boí, Bou i Avellaner, presenten clars indicis amb aigües superficials. El seu valor de pH de 6,5 en front el valor de 8,5 de la resta del grup i constant en per a tot el termalisme pirenaic estudiat.

L'únic font que escapa d'aquestes característiques generals es el de Ribes de Freser, on les aigües es caracteritzen per una mineralització molt superior, de 900 ppm de residu sec i per ser sulfatades-càlciques amb $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Ca}^{2+} = 0,99$. Aquesta relació iònica indica que les aigües deuen la seva mineralització al recorregut pels guixos. Les del riu Freser, no obstant, són bicarbonatades càlciques amb relacions $r\text{HCO}_3^-/r\text{Ca}^{2+} = 1,1$ corresponent a un recorregut per calcàries, principalment de la formació Estana típica del Cambro – Ordovicià pirinenc català que presenta precisament la seva màxima potència en la vall del Freser.

7. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A partir de les anàlisis químiques i de les cartografies extretes de l' Institut Cartogràfic de Catalunya es pot deduir que les manifestacions termals que apareixen en el Pirineu es disposen en tres nuclis, el Pirineu Occidental associat al massís granodiorític de la Maladeta, el Pirineu Central relacionat amb el Massís intrusiu d'Andorra i finalment, el Pirineu Oriental associat al massís granodiorític de la Jonquera.

En tots els casos del Pirineu les anàlisis químiques de les aigües superficials donen una composició bicarbonatada càlcica amb variacions de composició segons la zona, possiblement adopten aquesta composició degut a l'acidesa de les aigües de la pluja, que donarà lloc a una interacció amb els materials calcaris de la zona, dissolent la roca i enriquint les aigües en calci i bicarbonat. Si observem les anàlisis químiques es dedueix també una composició més elevada de calci en les zones de recàrrega confirmant aquesta hipòtesi.

El Pirineu Occidental separa les surgències en tres blocs. Unes caracteritzades per la presència d'una sèrie de falles predominants en direcció NO-SE, com es el cas de les surgències d'Arties, Tredos i Espot situades al llarg d'una falla de direcció NO-SE, per tant, podria ser el cas que les aigües termals ascendissin a la superfície per aquesta falla, travessant els mateixos materials i donant així una composició química molt similar (aigües bicarbonatades sòdiques) que es reflecteix en les anàlisis químiques.

Per altra banda, el complex termal de Les que es situa al Nord de la falla del Bossost de direcció E-O no mostra cap relació estructural amb les altres fonts de la part occidental del Pirineu. En aquest cas, les aigües termals ascendeixen per les diàclasis presents en aquesta zona que posen en contacte material granític amb esquistos donant una composició bicarbonatada sulfatada sòdica.

I finalment, el sistema geotèrmic de Caldes de Boí es troba situat en una falla NE-SO per on ascendeixen les aigües termals. Les aigües subterrànies a mesura que s'allunyen de la zona de recàrrega van canviant la seva composició fent-se més salines. Aquest fet podria explicar la tendència clorurada de les aigües de Caldes de Boí, complex termal del Pirineu Occidental més allunyat de la zona de recàrrega.

Per al cas del Pirineu Central també existeix un predomini de fractures de direcció NO-SE i un altre NNO-SSE. En aquesta zona dedueixo per una banda, un sistema format per Andorra, Baridà i Senillers que presenten el mateix tipus de composició química de les aigües termals i que són fonts molt properes que poden travessar els mateixos materials i que finalment surten a la superfície a través d'una sèrie de fractures de direcció NO-SE.

Per altra banda, el Sistema de Ribes de Freser es troba aïllat de tots els sistemes esmentats anteriorment. Aquest aïllament es veu reflectit en la composició química d'aquestes aigües donant una composició sulfatada càlcica diferent a la resta de les aigües termals del Pirineu central. Aquesta diferència de composició es dona per la circulació d'aquestes aigües per materials eocens del Pre-Pirineu. En aquesta zona l'aigua surt en superfície per una sèrie de fractures.

En el Pirineu Oriental dominen les falles en direcció NNO-SSE. La font termal de Nostra Sra. Del las Mercedes es troba en una fractura de direcció NNO-SSE paral·lela a la fractura on es troba la surgència de Sant Climent. Una hipòtesi podria ser la circulació conjunta d'aquestes aigües donant una composició bicarbonatada similar fins arribar a les fractures on es separaran travessant materials similars ja que tenen composicions químiques semblants donant lloc a un sistema geotèrmic de tipus difús.

Totes aquestes anàlisis de les aigües termals posen de manifest que la Terra desprèn calor, i que, per tant, ens trobem davant d'un recurs natural que podria ser explotat per a generar energia. En l'actualitat la seva explotació es limitada, com en el cas dels Pirineus que només és coneguda per a balnearis i per a l'ús puntual en la calefacció. Considero que l'àmplia diversitat de temperatures que es poden trobar en aquests jaciments geotèrmics permet moltes possibilitats per a l'explotació, utilitzant des de temperatures molt elevades a temperatures més baixes.

Aquest recurs podria ser aprofitat amb major intensitat per a generar energia ja que no depèn de les condicions climatològiques i pot ser utilitzat en qualsevol moment, ni de l'estació de l'any ni del moment del dia, es una energia que pot ser utilitzada contínuament. Penso també que és una forma d'energia ecològica i eficient i sobretot il·limitada que pot ser utilitzada durant molts anys amb una certa racionalitat a diferència de les energies fòssils que s'esgoten a mesura que són explotades.

D'altra banda, també cal dir que l'energia interna de la Terra es present en totes les àrees de la Terra, no es restringeix a zones concretes com passa per exemple amb els recursos fòssils, i pot ser aprofitada en qualsevol part del món. Si és cert, que la temperatura depèn de les àrees i en algunes zones l'energia geotèrmica serà més elevada (quan el flux geotèrmic sigui elevat) que en altres zones. De totes formes, aquesta energia no es accessible en qualsevol lloc, ja que pot trobar-se lluny dels centres de consum, fet que complica la seva explotació doncs no pot ser transportada.

En ocasions genera un impacte visual, ja que es necessària la construcció per a la explotació d'aquest recurs, però opino que no deixa de ser una edificació mínima i que inclús en ocasions, les instal·lacions es troben en els soterranis d'edificis o en el subsòl i són integrades fàcilment en el paisatge.

Aquesta calor que s'aprofitaria es troba en la roca o en el terreny, a partir de la circulació de les aigües subterrànies per aquesta zona, aquesta calor es transmet a l'aigua i d'aquesta manera ascendeix a la superfície per ser aprofitada posteriorment. Per tant, aquesta aigua es renova de forma natural amb les aigües superficials o injectant artificialment aigua al subsòl.

Es considerada una energia neta ja que les instal·lacions no precisen cremar combustibles i conseqüentment no emeten gasos d'efecte hivernacle. Puntualment, quan aquesta energia s'utilitza per a bombes de calor per la calefacció o refrigeració, aquesta necessita una producció d'energia elèctrica que emetrà gasos però considero que no deixen de ser molt inferiors a la producció de gasos dels sistemes tradicionals. Per això, la geotèrmia és la font d'energia que emet menys diòxid de carboni a l'atmosfera per la producció d'electricitat en comparació amb el gasoil, l'electricitat i el gas natural. Per altra banda, pot donar-se una contaminació tèrmica produïda quan aquesta aigua utilitzada a temperatures elevades s'aboca a les aigües superficials afectant als éssers vius provocant la mort massiva d'aquests i per tant, afectant a l'ecosistema aquàtic de forma negativa. Un altre dels punts negatius d'aquest recurs es la emissió d'àcid sulfhídric que es detecta per l'olor a "ous podrits" però que en grans quantitats pot arribar a ser letal.

Un altre punt a destacar és, observant al llarg de la història, quan es produeix una crisi amb el petroli augmenta aquest tipus d'energia geotèrmica, fet que explicaria que pot

ser perfectament reemplaçada pels combustibles fòssils donant una font d'energia amb menors efectes ambientals negatius. Crec que a mesura que el preu dels recursos fòssils augmenti degut a l'esgotament d'aquest, l'energia geotèrmica anirà agafant terreny i fent-se més competitiva ja que es tracta d'un recurs il·limitat i a la llarga molt més factible tant econòmicament com ambientalment.

I finalment destacar que es una font d'energia que evitaria la dependència energètica exterior i consegüentment els conflictes que generen els recursos fòssils entre països.

8. CONCLUSIONS

El flux de calor anòmal originat en determinades zones de la Terra donarà lloc a gradients geotèrmics elevats que originaran diferents jaciments geotèrmics que si compleixen les condicions geològiques i econòmiques necessàries podran ser explotats com a recurs energètic.

Existeixen una sèrie d'aplicacions de l'energia geotèrmica que depenen del contingut de calor del fluid geotèrmic (calefacció, centres d'oci com balnearis, piscines, etc., aigua calenta sanitària, agricultura, indústria, etc).

Aquest recurs geotèrmic en el món ha augmentat la seva producció al llarg dels anys. Les zones més propícies per als jaciments d'alta temperatura es situarien en les zones tectòniques actives, com per exemple, els límits de placa, mentre que les zones favorables per a trobar jaciments de baixa temperatura serien les conques sedimentàries.

Els jaciments geotèrmics a Espanya són majoritàriament de baixa – mitja temperatura, poc explotats i utilitzats generalment per a la calefacció i el subministrament d'aigua calenta.

El flux de calor geotèrmic a Catalunya calculat a partir del producte entre el gradient geotèrmic i la conductivitat tèrmica dels materials mostra un augment de flux de calor superficial del Pirineu a la costa. Existeixen dues anomalies, una de negativa en el Vallès Oriental provocada per infiltració lenta de les aigües i una anomalia positiva en la desembocadura de l'Ebre causada per efecte de la infiltració ràpida de les aigües meteòriques que es barregen amb les aigües termal provocant el refredament d'aquestes últimes.

Les manifestacions termals en el Pirineu arriben fins a temperatures de 71°C i es disposen en tres grans nuclis, el Pirineu Occidental, el Pirineu Central i el Pirineu Oriental.

La majoria de manifestacions termals del Pirineu van associades a fractures perifèriques dels massissos granítics o a dics, per on ascendeixen les aigües fins a la superfície constituint surgències de vall i molt sovint de tipus difús, l'aigua ascendeix per una sèrie de fractures a la superfície donant lloc a diferents fonts distribuïts en una zona més o menys reduïda.

Els cabals presenten ordres de magnitud diferents (de 0,1 l/s a 300 l/min) mentre que les temperatures varien dels 20°C als 70°C.

Les aigües del Pirineu presenten una homogeneïtat química tractant-se majoritàriament d'aigües bicarbonatades sòdiques que circulen per granits. En el Pirineu Occidental dominaria la composició bicarbonatada sòdica per a les aigües termals d'Arties, Tredos i Espot. Tot i que, Caldes de Boí, gran complex hidrotermal presenta aigües clorurades sulfatades sòdiques. El Pirineu Central es caracteritza per un sistema d'aigües bicarbonatades sòdiques format per Andorra, Baridà i Senillers i el sistema aïllat de Ribes de Freser amb aigües sulfatades càlciques. I finalment, en el Pirineu Oriental trobem dos sistemes, el de Nostra Sra. de las Mercedes i Sant Climent amb aigües termals bicarbonatades sòdiques.

En les fonts termals del Pirineu es dona un despreniment d'àcid sulfhídric i una abundant comunitat bacteriana que acabaran conferint un caràcter sulfurós a les aigües del Pirineu.

9. ANNEX : Anàlisis químiques dels sistemes geotèrmics del Pirineu

9.1. Sistemes geotèrmics del Pirineu Occidental

Les

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Les en el Riu Garona, en la Font de la Mina (25°C) i en la Font Exterior (30°C):

Per a les aigües termals del Riu Garona:

pH a 18°C	7,4
Conductivitat a 18°C	140 µS/cm
Residu sec a 110°C	89 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	65,6 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	59,5 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 1: Característiques químiques de l'aigua termal de Les en el Riu Garona (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	72,6	1,19	80,95
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	7,5	0,16	10,88
Cl ⁻	4,3	0,12	8,16
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	7	-	-
Total		1,47	

Taula 2: Anions presents en l'aigua termal de Les en el Riu Garona (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	2,0	0,09	6,33
K ⁺	0,9	0,02	1,41
Ca ²⁺	24,5	1,22	85,92
Mg ²⁺	1,1	0,09	6,33
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		1,42	

Taula3: Cations presents en l'aigua termal de Les en el riu Garona(Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la Font de la Mina (25°C):

pH a 18°C	9,1
Conductivitat a 18°C	115 µS/cm
Residu sec a 110°C	102 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,20 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	10 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	38 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	6 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 4: Característiques químiques de l'aigua termal de Les en la Font de la Mina (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	31,72	0,52	30,23
CO ₃ ²⁻	7,19	0,24	13,95
SO ₄ ²⁻	27,84	0,58	33,71
Cl ⁻	13,66	0,38	22,10
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	118	-	-
Total		1,72	

Taula 5: Anions presents en l'aigua termal de Les en la Font de la Mina (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	27,5	1,19	84,39
K ⁺	1,0	0,02	1,40
Ca ²⁺	4,0	0,20	14,20
Mg ²⁺	<0,2	-	-
NH ₄ ⁺	<0,1	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		1,41	

Taula 6: Cations presents en l'aigua termal de Les en la Font de la Mina (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font Exterior (25°C):

pH a 18°C	9,5
Conductivitat a 18°C	125 µS/cm
Residu sec a 110°C	111 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,13 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	10 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	40 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	14 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 7: Característiques químiques de l'aigua termal de Les en la Font de l'Exterior (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	14,64	0,24	14,63
CO ₃ ²⁻	16,78	0,56	34,14
SO ₄ ²⁻	22,08	0,46	28,04
Cl ⁻	13,66	0,38	23,18
NO ₃ ⁻	0,30	-	-
SiO ₂	118	-	-
Total		1,64	

Taula 8: Anions presents en l'aigua termal de Les en la Font de l'Exterior (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	27,5	1,19	84,39
K ⁺	1,0	0,02	1,41
Ca ²⁺	2,40	0,12	8,51
Mg ²⁺	0,97	0,08	5,68
NH ₄ ⁺	0,12	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		1,41	

Taula 9: Cations presents en l'aigua termal de Les en la Font de l'Exterior (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada – sulfatada sòdica.

Arties

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals d'Arties en el Riu Garona i la font termal (40°C).

Per a les aigües termals del Riu Garona:

pH a 18°C	7,8
Conductivitat a 18°C	130 µS/cm
Residu sec a 110°C	73 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	64 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	57,8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 10: Característiques químiques de l'aigua termal d'Arties en el Riu Garona (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	70,5	1,16	79,45
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	8,5	0,18	12,32
Cl ⁻	4,3	0,12	8,22
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	4	-	-
Total		1,46	

Taula11: Anions presents en l'aigua termal d'Arties en el Riu Garona (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	2,0	0,09	6,52
K ⁺	0,6	0,01	0,72
Ca ²⁺	23,9	1,19	86,23
Mg ²⁺	1,1	0,09	6,52
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		1,38	

Taula 12: Cations presents en l'aigua termal d'Arties en el riu Garona (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font termal (40°C):

pH a 18°C	9,4
Conductivitat a 18°C	301 µS/cm
Residu sec a 110°C	257 ppm
Matèria orgànica (DQO)	3,9 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	9 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	62 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	28 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 13: Característiques químiques de l'aigua termal d'Arties en la font termal (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	7,82	0,12	4,00
CO ₃ ²⁻	33,57	1,12	37,33
SO ₄ ²⁻	38,40	0,80	26,66
Cl ⁻	34,15	0,96	32,00
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	214	-	-
Total		3,00	

Taula 14: Anions presents en l'aigua termal d'Arties en la font termal (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	65,5	2,85	92,23
K ⁺	1,65	0,04	1,30
Ca ²⁺	3,20	0,16	5,18
Mg ²⁺	0,24	0,02	0,64
NH ₄ ⁺	0,37	0,02	0,64
Fe	<0,2	-	-
Total		3,09	

Taula 15: Cations presents en l'aigua termal d'Arties en la font termal (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada clorurada sòdica.

Tredòs

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Tredòs en el riu Aiguamoix i en la font termal (38°C):

Per a les aigües termals del Riu Aiguamoix:

pH a 18°C	7,9
Conductivitat a 18°C	110 µS/cm
Residu sec a 110°C	70 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,7
Duresa total	55,4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	49 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 16: Característiques químiques de l'aigua termal de Tredòs en el Riu Aiguamoix (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	60,0	0,98	81,66
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	5,0	0,10	8,33
Cl ⁻	4,3	0,12	10,00
NO ₃ ⁻	1	-	-
SiO ₂	6,3	-	-
Total		1,20	

Taula 17: Anions presents en l'aigua termal de Tredòs en el Riu Aiguamoix (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	1,8	0,08	6,61
K ⁺	0,4	0,01	0,82
Ca ²⁺	19,0	0,96	79,34
Mg ²⁺	2,1	0,16	13,22
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		1,21	

Taula 18: Cations presents en l'aigua termal de Tredòs en el Riu Aiguamoix (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font termal (38°C):

pH a 18°C	9,5
Conductivitat a 18°C	186 µS/cm
Residu sec a 110°C	135 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,5 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	48,8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	14,8 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 19: Característiques químiques de l'aigua termal de Tredòs en la font termal (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	23,42	0,38	22,48
CO ₃ ²⁻	17,74	0,59	34,91
SO ₄ ²⁻	16,32	0,34	20,12
Cl ⁻	13,66	0,38	22,48
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	156	-	-
Total		1,69	

Taula 20: Anions presents en l'aigua termal de Tredòs en la font termal (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	32,5	1,41	88,12
K ⁺	1,3	0,03	1,87
Ca ²⁺	2,40	0,12	7,50
Mg ²⁺	0,48	0,04	2,50
NH ₄ ⁺	0,17	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		1,60	

Taula 21: Cations presents en l'aigua termal de Tredòs en la font termal (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Caldes de Boí

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Caldes de Boí en el riu Noguera de Tor, en la Font de l'Estufa (56°C), en les Termes Romanes (50°C), en la Font dels Banys (45°C), en la Font de la Tartera (40°C), en la Font Llucia (40°C), en la Font del Canem (33°C), en la Font del Bou (37°C) i en la Font de l'Avellaner (30°C):

Per a les aigües termals del Riu Noguera de Tor:

pH a 18°C	7,3
Conductivitat a 18°C	30 µS/cm
Residu sec a 110°C	19 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	15,8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	12,5 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 22: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en el Riu Noguera de Tor (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	15,2	0,25	58,14
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	6,0	0,12	27,90
Cl ⁻	2,2	0,06	13,95
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	5	-	-
Total		0,43	

Taula 23: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en el Riu Noguera de Tor (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	1,2	0,05	13,51
K ⁺	0,5	0,01	2,70
Ca ²⁺	3,8	0,19	51,35
Mg ²⁺	1,5	0,12	32,43
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		0,37	

Taula 24: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en el riu Noguera de (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la Font de l'Estufa (56°C):

pH a 18°C	8,3
Conductivitat a 18°C	373 µS/cm
Residu sec a 110°C	271 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,12 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	12 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	45 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 25: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de l'Estufa (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	54,90	0,90	24,59
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	53,76	1,12	30,60
Cl ⁻	58,06	1,64	44,80
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	70	-	-
Total		3,66	

Taula 26: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	75,0	3,26	91,83
K ⁺	2,20	0,05	1,41
Ca ²⁺	4,00	0,20	5,63
Mg ²⁺	0,48	0,04	1,12
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		3,55	

Taula 27: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de l'Estufa (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de les Termes Romanes (50°C):

pH a 18°C	8,2
Conductivitat a 18°C	410 µS/cm
Residu sec a 110°C	340 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	11 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	40 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 28: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en les Termes Romanes (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	48,80	0,80	21,68
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	55,0	1,14	30,89
Cl ⁻	62,0	1,74	47,15
NO ₃ ⁻	1,0	0,01	0,27
SiO ₂	73	-	-
Total		3,69	

Taula 29: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en les Termes Romanes (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	79,0	3,43	92,45
K ⁺	2,7	0,07	1,88
Ca ²⁺	4,0	0,19	5,12
Mg ²⁺	0,3	0,02	0,54
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		3,71	

Taula 30: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en les Termes Romanes (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font dels Banys (45°C):

pH a 18°C	7,9
Conductivitat a 18°C	364 µS/cm
Residu sec a 110°C	288 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,28 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	12 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	47 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 31: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font dels Banys (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	57,82	0,95	24,48
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	57,60	1,20	30,92
Cl ⁻	61,47	1,73	44,59
NO ₃ ⁻	0,2	-	-
SiO ₂	67	-	-
Total		3,88	

Taula 32: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font dels Banys (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	74,0	3,22	93,87
K ⁺	2,35	0,06	1,75
Ca ²⁺	2,67	0,13	3,79
Mg ²⁺	0,24	0,02	0,58
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		3,43	

Taula 33: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font dels Banys (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font de la Tartera (40°C):

pH a 18°C	9,0
Conductivitat a 18°C	410 µS/cm
Residu sec a 110°C	320 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8,3 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	44 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	12 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 34: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de la Tartera (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	24,4	0,40	11,11
CO ₃ ²⁻	14,40	0,48	13,33
SO ₄ ²⁻	47,0	0,98	27,22
Cl ⁻	62,0	1,74	48,33
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	69	-	-
Total		3,60	

Taula 35: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de la Tartera (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	79,0	3,43	93,71
K ⁺	2,4	0,06	1,63
Ca ²⁺	3,2	0,16	4,37
Mg ²⁺	0,1	0,01	0,28
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		3,66	

Taula 36: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de la Tartera (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font de Lluçia (40°C):

pH a 18°C	9,0
Conductivitat a 18°C	430 µS/cm
Residu sec a 110°C	330 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	11,2 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	55,4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	10 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 37: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de Lluçia (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	43,6	0,71	18,68
CO ₃ ²⁻	12,0	0,40	10,52
SO ₄ ²⁻	43,0	0,89	23,42
Cl ⁻	64,0	1,80	43,37
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	68	-	-
Total		3,80	

Taula 38: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de Lluçia (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	80,0	3,47	92,28
K ⁺	2,7	0,07	1,86
Ca ²⁺	3,8	0,19	5,05
Mg ²⁺	0,4	0,03	0,80
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		3,76	

Taula 39: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font de Lluçia (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – sulfatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font del Canem (33°C):

pH a 18°C	7,7
Conductivitat a 18°C	292 µS/cm
Residu sec a 110°C	257 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,44 ppm O ₂
pH al camp	8,0
Duresa total	16 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	48 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 40: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Canem (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	58,56	0,96	30,76
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	34,56	0,72	23,07
Cl ⁻	51,23	1,44	46,16
NO ₃ ⁻	0,4	-	-
SiO ₂	126	-	-
Total		3,12	

Taula 41: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Canem (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	77,0	3,35	89,81
K ⁺	2,30	0,06	1,60
Ca ²⁺	6,01	0,30	8,04
Mg ²⁺	0,24	0,02	0,54
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		3,73	

Taula 42: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Canem (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – bicarbonatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font del Bou (37°C):

pH a 18°C	7,7
Conductivitat a 18°C	183 µS/cm
Residu sec a 110°C	153 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,20 ppm O ₂
pH al camp	6,5
Duresa total	14 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	30 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 43: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Bou (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	36,6	0,60	30,92
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	23,04	0,48	24,74
Cl ⁻	30,73	0,86	44,33
NO ₃ ⁻	-	-	-
SiO ₂	52	-	-
Total		1,94	

Taula 44: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Bou (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	38,0	1,65	83,75
K ⁺	1,5	0,04	2,03
Ca ²⁺	4,80	0,24	12,18
Mg ²⁺	0,48	0,04	2,03
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		1,97	

Taula 45: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Bou (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – bicarbonatada sòdica.

Per a les aigües termals de la Font del Avellaner (30°C):

pH a 18°C	7,7
Conductivitat a 18°C	205 µS/cm
Residu sec a 110°C	155 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	6,5
Duresa total	16,4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	32 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 46: Característiques químiques de l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Avellaner (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	39,0	0,64	35,36
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	17,0	0,36	19,88
Cl ⁻	28,0	0,80	44,19
NO ₃ ⁻	1	0,01	0,56
SiO ₂	33	-	-
Total		1,81	

Taula 47: Anions presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Avellaner (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	3,40	1,47	79,89
K ⁺	1,6	0,04	2,17
Ca ²⁺	4,2	0,21	11,41
Mg ²⁺	1,4	0,12	6,52
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		1,84	

Taula 48: Cations presents en l'aigua termal de Caldes de Boí en la Font del Avellaner (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a clorurada – bicarbonatada sòdica.

Espot

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran, J.A, 1973 de les aigües termals d'Espot per al Riu Peguera i per a la font termal (28°C):

Per a les aigües termals del Riu Peguera:

pH a 18°C	7,6
Conductivitat a 18°C	90 µS/cm
Residu sec a 110°C	60 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	43,4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	39,8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- Ppm

Taula 49: Característiques químiques de l'aigua termal d'Espot en el Riu Peguera (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	48,6	0,79	74,52
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	7,0	0,15	14,15
Cl ⁻	4,3	0,12	11,32
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	4	-	-
Total		1,06	

Taula 50: Anions presents en l'aigua termal d'Espot en el Riu Peguera (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	1,8	0,08	8,33
K ⁺	0,6	0,01	1,04
Ca ²⁺	16,3	0,82	85,41
Mg ²⁺	0,6	0,05	5,21
NH ₄ ⁺	<1	-	-
Fe	-	-	-
Total		0,96	

Taula 51: Cations presents en l'aigua termal d'Espot en el Riu Peguera (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font termal (28°C):

pH a 18°C	9,8
Conductivitat a 18°C	148 µS/cm
Residu sec a 110°C	105 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,04 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	10 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	42 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	12 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 52: Característiques químiques de l'aigua termal d'Espot en la font termal (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	21,96	0,36	20,00
CO ₃ ²⁻	14,38	0,48	26,66
SO ₄ ²⁻	27,84	0,58	32,22
Cl ⁻	13,66	0,38	21,11
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	156	-	-
Total		1,80	

Taula 53: Anions presents en l'aigua termal d'Espot en la font termal (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	27,5	1,19	83,80
K ⁺	1,1	0,03	2,11
Ca ²⁺	4,00	0,20	14,08
Mg ²⁺	<0,2	-	-
NH ₄ ⁺	0,16	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		1,42	

Taula 54: Cations presents en l'aigua termal d'Espot en la font termal (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada – sulfatada sòdica.

9.2 Sistemes geotèrmics del Pirineu Central

Andorra

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals d'Andorra per al Riu Madriu, la Font del Rentadó (62°C), la font termal F-6 (64°C) i la font termal F-4 (51°C):

Per a les aigües termals del Riu Madriu:

pH a 18°C	7,2
Conductivitat a 18°C	50 µS/cm
Residu sec a 110°C	40 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	21,6 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	19 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 55: Característiques químiques de l'aigua termal d'Andorra en el Riu Madriu (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	23,2	0,38	64,40
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	5,1	0,10	16,95
Cl ⁻	4,3	0,11	18,64
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	10	-	-
Total		0,59	

Taula 56: Anions presents en l'aigua termal d'Andorra en el Riu Madriu (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	2,9	0,13	24,53
K ⁺	0,4	0,01	1,88
Ca ²⁺	6,4	0,32	60,38
Mg ²⁺	0,9	0,07	13,20
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		0,53	

Taula 57: Cations presents en l'aigua termal d'Andorra en el Riu Madriu (Beltran (1973))

En aquestes aigües la formula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la Font del Rentadó (62°C):

pH a 18°C	9,2
Conductivitat a 18°C	170 µS/cm
Residu sec a 110°C	189 ppm
Matèria orgànica (DQO)	2,3 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	63 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	13 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 58: Característiques químiques de l'aigua termal d'Andorra en la Font del Rentadó (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	45,14	0,74	39,36
CO ₃ ²⁻	15,6	0,52	27,66
SO ₄ ²⁻	11,52	0,24	12,76
Cl ⁻	13,66	0,38	20,21
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	130	-	-
Total		1,88	

Taula 59: Anions presents en l'aigua termal d'Andorra en la Font del Rentadó (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	42,5	1,84	89,75
K ⁺	1,90	0,05	2,44
Ca ²⁺	3,00	0,15	7,31
Mg ²⁺	0,12	0,01	0,49
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		2,05	

Taula 60: Cations presents en l'aigua termal d'Andorra en la Font del Rentadó (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Per a les aigües termals de la font termal F-6 (64°C):

pH a 18°C	7,7
Conductivitat a 18°C	159 µS/cm
Residu sec a 110°C	168 ppm
Matèria orgànica (DQO)	2,4 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	18 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	60 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 61: Característiques químiques de l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-6 (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	73,20	1,20	64,51
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	13,44	0,28	15,05
Cl ⁻	13,66	0,38	20,43
NO ₃ ⁻	0,22	-	-
SiO ₂	81,5	-	-
Total		1,86	

Taula 62: Anions presents en l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-6 (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	40,0	1,74	80,93
K ⁺	2,05	0,05	2,32
Ca ²⁺	5,61	0,28	13,02
Mg ²⁺	0,97	0,08	3,72
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		2,15	

Taula 63: Cations presents en l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-6 (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Per a les aigües termals de la font termal F-4 (51°C):

pH a 18°C	7,5
Conductivitat a 18°C	158 µS/cm
Residu sec a 110°C	179 ppm
Matèria orgànica (DQO)	2,2 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	10 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	56 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 64: Característiques químiques de l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-4 (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	68,07	1,11	64,16
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	11,52	0,24	13,87
Cl ⁻	13,66	0,38	21,96
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	78,5	-	-
Total		1,73	

Taula 65: Anions presents en l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-4 (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	39,0	1,69	87,56
K ⁺	1,8	0,04	2,07
Ca ²⁺	3,20	0,16	8,29
Mg ²⁺	0,48	0,04	2,07
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		1,93	

Taula 66: Cations presents en l'aigua termal d'Andorra en la font termal F-4 (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Baridà – Senillers

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Baridà en el riu Segre, en el balneari de Sant Vicenç (38°C), en la Font del Rec (35°C), i de les aigües termals de Senillers en el riu Aransér, a Caldes de Musa (14°C) (termal residual), en la Font del Paidor (30°C), en la Font del Riu (28°C), en la Font Herpèctica (25°C) i en la Font de la Muntanya (24°C):

A Baridà, per a les aigües termals del Riu Segre:

pH a 18°C	7,5
Conductivitat a 18°C	150 µS/cm
Residu sec a 110°C	90 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,2
Duresa total	69,4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	59,3 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- Ppm

Taula 67: Característiques químiques de l'aigua termal de Baridà en el Riu Segre (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	72,3	1,19	75,31
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	10,0	0,21	13,29
Cl ⁻	6,4	0,18	11,39
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	7	-	-
Total		1,58	

Taula 68: Anions presents en l'aigua termal de Baridà en el Riu Segre (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	2,5	0,11	7,19
K ⁺	1,1	0,03	1,96
Ca ²⁺	23,9	1,19	77,77
Mg ²⁺	2,4	0,20	13,07
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		1,53	

Taula 69: Cations presents en l'aigua termal de Baridà en el Riu Segre (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

A Baridà, per a les aigües termals del Balneari de Sant Vicenç (38°C):

pH a 18°C	9,3
Conductivitat a 18°C	203 µS/cm
Residu sec a 110°C	186 ppm
Matèria orgànica (DQO)	2,0 ppm O ₂
pH al camp	8,7
Duresa total	4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	65,6 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	9,6 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- Ppm

Taula 70: Característiques químiques de l'aigua termal de Baridà en el Balneari de St. Vicenç (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	56,60	0,93	40,26
CO ₃ ²⁻	11,52	0,38	16,45
SO ₄ ²⁻	24,96	0,52	22,51
Cl ⁻	17,07	0,48	20,77
NO ₃ ⁻	0,24	-	-
SiO ₂	56,5	-	-
Total		2,31	

Taula 71: Anions presents en l'aigua termal de Baridà en el Balneari de St. Vicenç (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	58,0	2,52	96,18
K ⁺	1,0	0,02	0,76
Ca ²⁺	1,60	0,08	3,05
Mg ²⁺	<0,5	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		2,62	

Taula 72: Cations presents en l'aigua termal de Baridà en el Balneari de St. Vicenç (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

A Baridà, per a les aigües termals de la Font del Rec (35°C):

pH a 18°C	9,2
Conductivitat a 18°C	205 µS/cm
Residu sec a 110°C	178 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	62 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	5 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- Ppm

Taula 73: Característiques químiques de l'aigua termal de Baridà en la Font del Rec (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	64,44	1,04	45,61
CO ₃ ²⁻	6,0	0,20	8,77
SO ₄ ²⁻	26,88	0,56	24,56
Cl ⁻	17,07	0,48	21,05
NO ₃ ⁻	0,24	-	-
SiO ₂	47,5	-	-
Total		2,28	

Taula 74: Anions presents en l'aigua termal de Baridà en la Font del Rec (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	60,5	2,63	96,63
K ⁺	1,0	0,02	0,73
Ca ²⁺	1,60	0,08	2,93
Mg ²⁺	<0,5	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		2,73	

Taula 75: Cations presents en l'aigua termal de Baridà en la Font del Rec ((Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals del Riu Aranser:

pH a 18°C	7,2
Conductivitat a 18°C	50 µS/cm
Residu sec a 110°C	60 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	19,8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	19,0 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- Ppm

Taula 76: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers en el Riu Aranser (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	23,2	0,38	67,85
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	5,0	0,10	17,86
Cl ⁻	2,8	0,08	14,28
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	7	-	-
Total		0,56	

Taula 77: Anions presents en l'aigua termal de Senillers en el Riu Aranser (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	2,2	0,10	19,60
K ⁺	0,7	0,02	3,92
Ca ²⁺	6,9	0,34	66,66
Mg ²⁺	0,6	0,05	9,81
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		0,51	

Taula 78: Cations presents en l'aigua termal de Senillers en el Riu Aranser (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals de Caldes de Musa (14°C – Aigua termal residual):

pH a 18°C	6,9
Conductivitat a 18°C	17,5 µS/cm
Residu sec a 110°C	160 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	22 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	79 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 79: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers a Caldes de Musa (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	96,4	1,58	79,39
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	12,0	0,25	12,56
Cl ⁻	5,7	0,16	8,04
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	36	-	-
Total		1,99	

Taula 80: Anions presents en l'aigua termal de Senillers a Caldes de Musa (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	36	1,56	77,61
K ⁺	0,5	0,01	0,49
Ca ²⁺	6,9	0,34	16,91
Mg ²⁺	1,2	0,10	4,98
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		2,01	

Taula 81: Cations presents en l'aigua termal de Senillers a Caldes de Musa (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals de la Font del Paidor (30°C):

pH a 18°C	9,7
Conductivitat a 18°C	160 µS/cm
Residu sec a 110°C	146 ppm
Matèria orgànica (DQO)	0,8 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	76 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	26 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 82: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers en la Font del Paidor (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	29,28	0,48	22,96
CO ₃ ²⁻	31,17	1,04	49,76
SO ₄ ²⁻	13,44	0,28	13,40
Cl ⁻	10,24	0,29	13,87
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	132	-	-
Total		2,09	

Taula 83: Anions presents en l'aigua termal de Senillers en la Font del Paidor (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	42,5	1,84	91,09
K ⁺	1,0	0,02	0,99
Ca ²⁺	2,40	0,12	5,94
Mg ²⁺	0,48	0,04	1,98
NH ₄ ⁺	0,15	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		2,02	

Taula 84: Cations presents en l'aigua termal de Senillers en la Font del Paidor (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals de la Font del Riu (28°C):

pH a 18°C	9,5
Conductivitat a 18°C	155 µS/cm
Residu sec a 110°C	150 ppm
Matèria orgànica (DQO)	0,9 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	6,5 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	79 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	13,5 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 85: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers en la Font del Riu (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	63,44	1,04	52,52
CO ₃ ²⁻	16,2	0,54	27,27
SO ₄ ²⁻	7,68	0,16	8,08
Cl ⁻	8,53	0,24	12,12
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	100	-	-
Total		1,98	

Taula 86: Anions presents en l'aigua termal de Senillers en la Font del Riu (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	42,5	1,84	92,46
K ⁺	1,0	0,02	1,00
Ca ²⁺	2,40	0,12	6,03
Mg ²⁺	0,12	0,01	0,50
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		1,99	

Taula 87: Cations presents en l'aigua termal de Senillers en la Font del Riu (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals de la Font Herpèctica (25°C):

pH a 18°C	9,4
Conductivitat a 18°C	161 µS/cm
Residu sec a 110°C	121 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,0 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	4 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	77 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	1,8 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	pPpm

Taula 88: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers en la Font Herpèctica (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	90,18	1,48	69,81
CO ₃ ²⁻	2,20	0,07	3,30
SO ₄ ²⁻	13,44	0,28	13,20
Cl ⁻	10,24	0,29	13,68
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	49	-	-
Total		2,12	

Taula 89: Anions presents en l'aigua termal de Senillers en la Font Herpèctica (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	41,25	1,79	89,95
K ⁺	1,0	0,02	1,00
Ca ²⁺	2,40	0,12	6,03
Mg ²⁺	0,73	0,06	3,01
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		1,99	

Taula 90: Cations presents en l'aigua termal de Senillers en la Font Herpèctica (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

I finalment a Senillers per a les aigües termals de la Font de la Muntanya (24°C):

pH a 18°C	9,5
Conductivitat a 18°C	158 µS/cm
Residu sec a 110°C	157 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,28 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	75 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	13 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 91: Característiques químiques de l'aigua termal de Senillers en la Font de la Muntanya (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	59,78	0,98	51,04
CO ₃ ²⁻	15,6	0,52	27,08
SO ₄ ²⁻	6,72	0,13	6,77
Cl ⁻	10,24	0,29	15,10
NO ₃ ⁻	0,2	-	-
SiO ₂	49	-	-
Total		1,92	

Taula 92: Anions presents en l'aigua termal de Senillers en la Font de la Muntanya (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	41,75	1,81	90,95
K ⁺	1,0	0,02	1,00
Ca ²⁺	2,40	0,12	6,03
Mg ²⁺	0,48	0,04	2,01
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	-	-	-
Total		1,99	

Taula 93: Cations presents en l'aigua termal de Senillers en la Font de la Muntanya (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Ribes de Freser

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Ribes de Freser per el Riu Freser i la font termal (24°C)

Per a les aigües termals del Riu Freser:

pH a 18°C	8,2
Conductivitat a 18°C	320 µS/cm
Residu sec a 110°C	190 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	167 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	149 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 94: Característiques químiques de l'aigua termal de Ribes de Freser en el Riu Freser (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	181,0	2,98	80,76
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	23,0	0,48	13,0
Cl ⁻	7,0	0,20	5,42
NO ₃ ⁻	2,0	0,03	0,81
SiO ₂	5	-	-
Total		3,69	

Taula 95: Anions presents en l'aigua termal de Ribes de Freser en el Riu Freser (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	4,6	0,20	5,60
K ⁺	1,2	0,03	0,84
Ca ²⁺	53	2,67	74,79
Mg ²⁺	8	0,67	18,76
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		3,57	

Taula 96: Cations presents en l'aigua termal de Ribes de Freser en el Riu Freser (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font termal (24°C):

pH a 18°C	7,3
Conductivitat a 18°C	1240 µS/cm
Residu sec a 110°C	990 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	6,5
Duresa total	720 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	184 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 97: Característiques químiques de l'aigua termal de Ribes de Freser en la font termal (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	224	3,68	23,44
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	556	11,59	73,82
Cl ⁻	15	0,43	2,73
NO ₃ ⁻	<1	-	-
SiO ₂	14	-	-
Total		15,70	

Taula 98: Anions presents en l'aigua termal de Ribes de Freser en la font termal (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	18,7	0,81	5,31
K ⁺	2,2	0,05	0,32
Ca ²⁺	234	11,68	76,54
Mg ²⁺	33	2,72	17,82
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		15,26	

Taula 99: Cations presents en l'aigua termal de Ribes de Freser en la font termal (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a sulfatada càlcica.

9.3 Sistemes geotèrmics del Pirineu Oriental

N^a Sra. De las Mercedes

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de N^a Sra. De las Mercedes per al Riu Llobregat, per la font ferruginosa, per al Balneari (20°C) i per el sondeig Ibering (20°C):

Per a les aigües termals del Riu Llobregat:

pH a 18°C	7,7
Conductivitat a 18°C	435 µS/cm
Residu sec a 110°C	280 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,3
Duresa total	156 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	144 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 100: Característiques químiques de l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Riu Llobregat (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	175,7	2,88	60,0
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	44,2	0,92	19,16
Cl ⁻	35,5	0,94	19,58
NO ₃ ⁻	3,5	0,06	1,12
SiO ₂	14	-	-
Total		4,80	

Taula 101: Anions presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Riu Llobregat (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	34	1,48	31,69
K ⁺	2,6	0,07	1,50
Ca ²⁺	47,3	2,36	50,53
Mg ²⁺	9,2	0,76	16,27
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		4,67	

Taula 102: Cations presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Riu Llobregat (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font ferruginosa:

pH a 18°C	6,7
Conductivitat a 18°C	262 µS/cm
Residu sec a 110°C	201 ppm
Matèria orgànica (DQO)	2,8 ppm O ₂
pH al camp	6,7
Duresa total	100 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	85 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 103: Característiques químiques de l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en la font ferruginosa (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	103,7	1,69	66,01
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	19,2	0,39	15,23
Cl ⁻	17,2	0,48	18,75
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	53	-	-
Total		2,56	

Taula 104: Anions presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en la font ferruginosa (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	17,7	0,77	27,59
K ⁺	1,6	0,04	1,43
Ca ²⁺	28,0	1,39	49,82
Mg ²⁺	7,29	0,59	21,15
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	0,9	-	-
Total		2,79	

Taula 105: Cations presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en la font ferruginosa (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada calco – sòdica.

Per a les aigües termals del Balneari (20°C):

pH a 18°C	9,5
Conductivitat a 18°C	535 µS/cm
Residu sec a 110°C	411 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,37 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	8 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	108 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	76 ppm CO ₃ Ca
CO₂ lliure	- ppm

Taula 106: Característiques químiques de l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Balneari (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	39,04	0,64	16,54
CO ₃ ²⁻	45,6	1,52	39,27
SO ₄ ²⁻	30,72	0,64	16,53
Cl ⁻	37,95	1,07	27,65
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	129	-	-
Total		3,87	

Taula 107: Anions presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Balneari (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	91,25	3,96	94,51
K ⁺	2,7	0,07	1,67
Ca ²⁺	2,40	0,12	2,86
Mg ²⁺	0,48	0,04	0,95
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<0,2	-	-
Total		4,19	

Taula 108: Cations presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Balneari (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

Per a les aigües termals del Sondeig Ibering (20°C):

pH a 18°C	8,4
Conductivitat a 18°C	442 µS/cm
Residu sec a 110°C	340 ppm
Matèria orgànica (DQO)	0,9 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	18 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	88 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	14 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 109: Característiques químiques de l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Sondeig Ibering (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	90,28	1,48	43,91
CO ₃ ²⁻	8,4	0,28	8,30
SO ₄ ²⁻	25,92	0,54	16,03
Cl ⁻	37,95	1,07	31,75
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	118	-	-
Total		3,37	

Taula 110: Anions presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Sondeig Ibering (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	80,5	3,50	89,51
K ⁺	1,75	0,04	1,02
Ca ²⁺	5,6	0,28	7,16
Mg ²⁺	0,97	0,08	2,04
NH ₄ ⁺	0,28	0,01	0,26
Fe	<0,2	-	-
Total		3,91	

Taula 111: Cations presents en l'aigua termal de N^a Sra. De las Mercedes en el Sondeig Ibering ((Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

S. Climent

A continuació, en la taula següent ens mostra l'anàlisi químic realitzat per Beltran (1973) de les aigües termals de Sant Climent per al Riu Anyet i per a la Font termal (28°C):

Per a les aigües termals del Riu Anyet:

pH a 18°C	6,9
Conductivitat a 18°C	290 µS/cm
Residu sec a 110°C	190 ppm
Matèria orgànica (DQO)	- ppm O ₂
pH al camp	7,0
Duresa total	95,2 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	67,5 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	- ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 112: Característiques químiques de l'aigua termal de St. Climent per al Riu Anyet (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	82	1,35	46,23
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	34	0,72	24,66
Cl ⁻	25	0,67	22,94
NO ₃ ⁻	11	0,18	6,16
SiO ₂	16	-	-
Total		2,92	

Taula 113: Anions presents en l'aigua termal de St. Climent per al Riu Anyet (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	20	0,87	30,42
K ⁺	3,8	0,09	3,14
Ca ²⁺	29	1,43	50,0
Mg ²⁺	5,6	0,47	16,43
NH ₄ ⁺	-	-	-
Fe	<1	-	-
Total		2,86	

Taula 114: Cations presents en l'aigua termal de St. Climent per al Riu Anyet (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada – sulfatada càlcica.

Per a les aigües termals de la font termal (28°C):

pH a 18°C	8,9
Conductivitat a 18°C	244 µS/cm
Residu sec a 110°C	219 ppm
Matèria orgànica (DQO)	1,5 ppm O ₂
pH al camp	8,5
Duresa total	16 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TAC	88 ppm CO ₃ Ca
Alcalinitat TA	22 ppm CO ₃ Ca
CO ₂ lliure	- ppm

Taula 115: Característiques químiques de l'aigua termal de St. Climent per a la Font termal (Beltran (1973))

Anions	ppm	meq/l	% meq/l
HCO ₃ ⁻	107,36	1,76	65,18
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	14,36	0,29	10,74
Cl ⁻	23,15	0,65	24,07
NO ₃ ⁻	<0,1	-	-
SiO ₂	34	-	-
Total		2,70	

Taula 116: Anions presents en l'aigua termal de St. Climent per a la Font termal (Beltran (1973))

Cations	ppm	meq/l	% meq/l
Na ⁺	54,50	2,37	87,13
K ⁺	1,0	0,02	0,73
Ca ²⁺	2,40	0,12	4,41
Mg ²⁺	2,43	0,20	7,53
NH ₄ ⁺	0,29	0,01	0,37
Fe	<0,1	-	-
Total		2,72	

Taula 117: Cations presents en l'aigua termal de St. Climent per a la Font (Beltran (1973))

En aquestes aigües la fórmula iònica corresponent és:



Per tant, aquesta aigua es classificaria com a bicarbonatada sòdica.

11. BIBLIOGRAFIA

- Albert Beltran, J.F., 1973. Estudio geotérmico preliminar de Catalunya, tesis doctoral. Facultad de Geología Barcelona. Inédito, pp.455.
- Albert Beltran, J.F., 1976. Estudio hidrogeológico de los manantiales termales de Cataluña. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de Barcelona. Inédito.
- Albert Beltran, J.F., Mitjà I Sarvisé, A., Escobar I Sánchez, J.J., Esteve Reyner, J. i Banda Tarradellas, E., 1988. La Calor de la Terra. Energia Geotèrmica a Catalunya, pp. 85.
- Auqué, L.F. 1993. Estudio de sistemas geotermales en Aragón. Pautas de especiación y reacción aplicadas a la modelización de sistemas de baja – media entalpia, tesis doctoral, Universidad de Zaragoza. pp 509.
- Auqué, L.F., Mandado, J., Gimeno, M.J., López, P.L. i Gómez, J., 1996. Los Sistemas Geotermales del Pirineo Central. I. Caracteres geoquímicos y fisicoquímicos de las fuentes termales. pp. 161-173.
- Cabal, J. i Fernández. M., 1995. Heat flow and regional uplift at the Northeastern border of the Ebro basin, NE Spain. *Geophys. J. Int.*, 121:393-403.
- Chevalier, M., 1924. Les Valls d'Andorra. *Bulletí del Centre Excursionista de Catalunya*, 345-355.
- Fernández, M., Marzán, I., Correia, A. i Ramalho, E., 1998. Heat flow, heat production and lithospheric thermal regime in the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 291:29-54.
- Hartevelt, J.J.A., 1970. Geology of the Upper Segre and Valira Valleys, Central Pyrénées, Andorra, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, Vol. 45: 167-236.
- IGME, 2000. La Energía geotérmica. Ministerio de Industria y Energía. pp 1-16. (<http://www.igme.es/internet/Geotermia/Ficheros%20PDF/MasInfor/Folleto.pdf>)
- IGME. La Energía Geotérmica. (<http://www.igme.es/internet/Geotermia/presentacion.htm>)
- Kappelmeyer, O., Haenel, R., 1974. Geothermics with special reference to application. *Geoexploration Monographs*, Ser. 1, nº4: pp.238.
- Kleinsmiede, W.F., 1960. The Geology of the Valle de Arán (Central Pyrénées). *Leidse Geologische Mededelingen*, 25: 129-245.
- Llopis Trillo, G. i Rodrigo Angulo, V. Guía de la Energía Geotérmica. pp. 185. (<http://www.fenercom.com/Publicaciones/Geotermia.pdf>)
- Pous, J. i Jutglar, L., 2004. Energía Geotérmica, *Ceac*, pp.273.
- Puig, C. i Berastegui, X., Fernández, M. i Marzán I., 2009. Atlas de Recursos Geotérmicos de Cataluña: Régimen térmico superficial, pp. 43-50.