

POSSIBILITATS D'ENERGIA

GEOTÈRMICA A ESPANYA

R. Ortiz, E.R. Badiola, V. Araña,
A. Correig i J. Pavia

En aquest treball s'exposen els fonaments i nocions elementals de la Geotèrmia, destacant la configuració típica dels camps geotèrmics, així com llurs possibles manifestacions superficials associades. Una part important és dedicada a considerar les possibilitats i limitacions de les diverses tècniques de prospecció geofísica i geoquímica tant de caràcter general com específiques o experimentals. Finalment, s'hi presenta un esquema de les possibilitats d'existència de camps geotèrmics a Espanya i, específicament, a Catalunya.

Introducció

El terme *Geotèrmia* es refereix, en sentit ampli, a la calor existent a l'interior de la Terra, independentment dels factors que intervenen en la seva manifestació superficial. Aquesta calor flueix cap a les zones superficials, ja sigui per conducció directa o bé per convecció deguda al moviment ascendent dels fluids, escalfats en dipòsits més o menys profunds, a través de les fractures.

El conjunt constituït per la font calorífica, el fluid i la zona cortical on s'emmagatzema o circula el fluid, constitueix el *sistema geotèrmic*. Les denominacions *camp geotèrmic* i *província geotèrmica* impliquen consideracions econòmiques, les quals afecten a la realitat o viabilitat d'una explotació rentable.

En el millor dels casos, un aqüífer sotmès a temperatures superiors al seu punt d'ebullició pot convertir-se en un dipòsit de vapor sobrecalfat («vapor dominated system»); aquest vapor natural, captat mitjançant sondeigs, pot ser conduït directament a les turbines per a produir electricitat.

Es difícil, però, de trobar-nos en una situació òptima, amb producció de vapor sobrecalfat, tal com es dona en els camps de Larderello i Monte Amiata o els guèisers, per la qual cosa és d'esperar que la majoria de camps geotèrmics continguin vapor o aigua calenta.

Freqüentment el dipòsit està ocupat per aigua calenta («hot water systems»), i la vaporització es produeix a nivells superiors al de l'aqüífer o en els mateixos pous en disminuir la pressió («flashing»), obtenint-se normalment una mescla d'aigua en fase líquida i una fracció de vapor que varia entre el 10 i el 30 % del volum total.

Quan el fluid que hom extreu és només aigua calenta, aquest pot utilitzar-se de dues maneres diferents: a) vaporitzant-la a pressions inferiors, i b) mitjançant l'ús d'un bescanviador de calor i evaporant un fluid motor intermediari de punt d'ebullició baix.

Es interessant de constatar que, si bé aquesta font d'energia fou ja utilitzada per l'home prehistòric, hom no ha intentat d'aprofitar-la a escala significativa fins molt recentment. L'explicació d'aquest fet és de caire econòmic, car la disponibilitat de combustibles convencionals a baix cost era

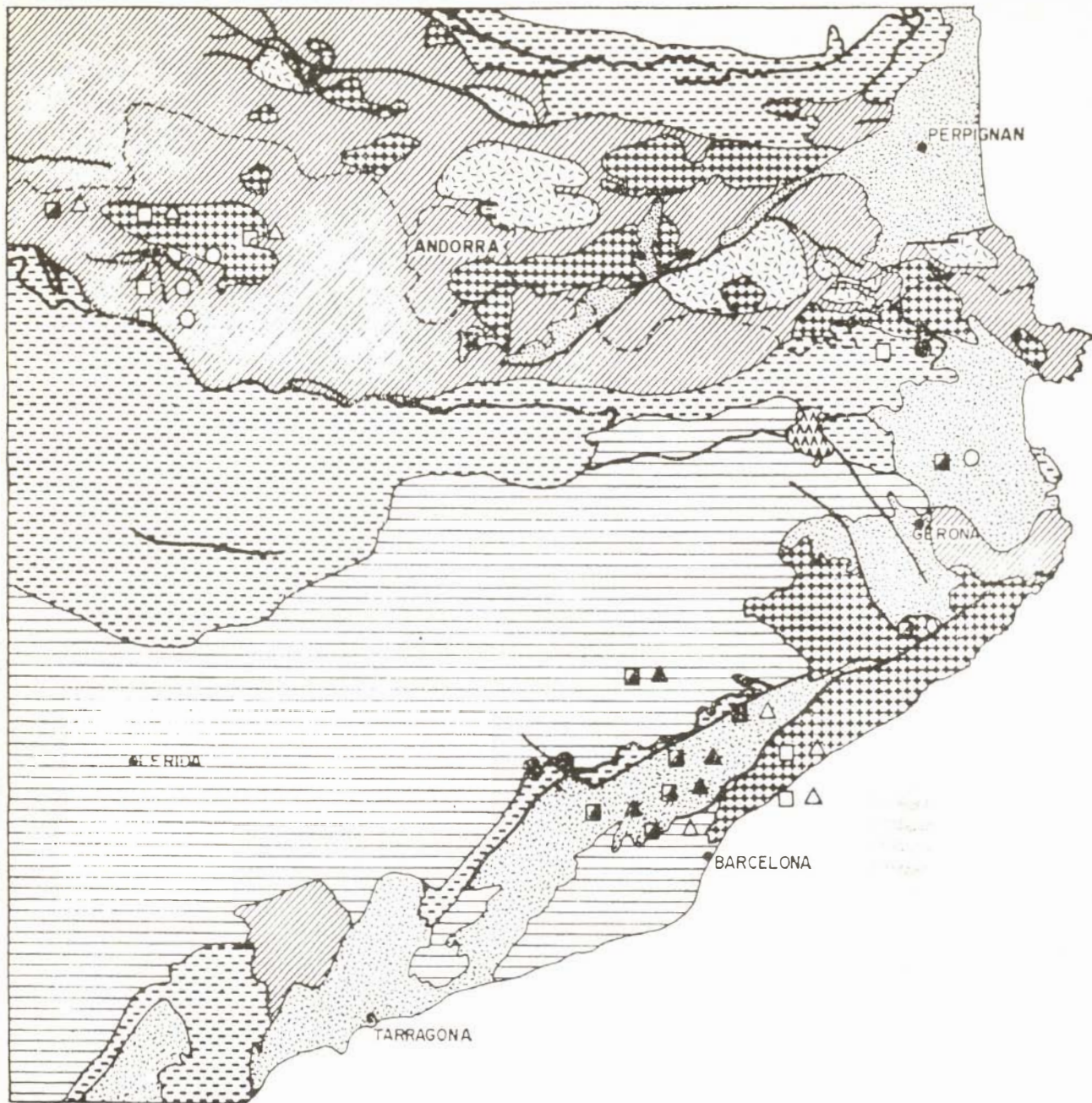
superior a la demanda prevista. No obstant, des del 1904 — poc després d'introduir-se la turbina — a Larderello funciona una central elèctrica accionada per energia geotèrmica, que començà utilitzant el vapor extret de pous de pocs metres de fondària, i que avui dia produeix quasi bé el 3 % de l'energia elèctrica que consumeix Itàlia.

Durant molts d'anys el «fenomen Larderello» fou considerat com una curiositat geològica irrepètible, però l'expansió econòmica de després de la Segona Guerra Mundial conduí a un major interès en la producció d'energia, i alguns països emprengueren investigacions sobre els seus recursos geotèrmics. Itàlia, Nova Zelanda, Estats Units i Mèxic aconseguiren d'aplicar el vapor natural a la producció d'electricitat a preus competitiu; d'altres països, com Hongria, la Unió Soviètica, Islàndia i Japó, començaren a utilitzar aquests recursos per a la calefacció d'habitatges i hivernacles. Actualment s'ha assajat o proposat l'ús d'aquests fluids endògens per a dessalinització d'aigua de mar, processos industrials tals com papereres i filatures i indústria sucraera, extracció de productes químics continguts en els fluids endògens, etc.

Hom pot dir que l'interès mundial per a l'energia geotèrmica surgeix de les recomanacions efectuades per les Nacions Unides després de la «Conferència sobre Noves Fonts d'Energia», celebrada a Roma l'any 1961. La dècada dels 60 representa l'entusiasme per la geotèrmia, i recentment, l'amenaça d'una crisi de les fonts energètiques tradicionals, ha impulsat definitivament la prospecció d'aquests recursos en quasi bé tots els països.

Prospecció geotèrmica

Donat l'actual nivell de coneixements, l'exploració d'aquests recursos naturals porta implícit el planteig d'una sèrie d'interrogants respecte a la naturalesa del fenomen, la resposta dels quals no és senzilla. En la prospecció geotèrmica el període mitjà d'exploració és d'uns cinc anys, i el risc no és superior al de qualsevol prospecció minera o petrolífera. No existeixen regles comunes a tots els camps geotèrmics coneguts, ans al contrari, hom troba



MANIFESTACIONES TERMALES

(Valores Medidos)

<u>T. Medidas °C</u>	<u>T. Calculadas (Na-K-Ca)</u>
● 20 - 30°C	■ < 50 °C
△ 30 - 45°C	□ 50 - 100°C
○ 45 - 60°C	■ 150 - 200°C
▲ 60 - 75°C	

- ▭ Areas de cobertera
- ▨ Terrenos mesozoicos y terciarios (Relleno de fosas tectonicas)
- ▩ Terrenos mesozoicos y terciarios (Afectados por deformaciones cretacias u eocenas)
- ▧ Terrenos paleozoicos (Deformados por la orogenesis hercinica)
- ▦ Terrenos precambricos e infracambricos
- ▤ Rocas plutonicas
- ▣ Formaciones volcanicas

En el mapa s'assenyalen els indrets on hom ha detectat manifestacions termals.

diferències importants entre ells, les quals, si bé dificulten l'aplicació d'una metodologia estandaritzada, per altra banda eviten de desestimar *a priori* camps geotèrmics les característiques dels quals no responen a les ja conegudes.

L'existència d'un camp geotèrmic explotable es basa en les següents condicions geològiques i econòmiques:

1. Una font de calor a relativament poca profunditat que garanteixi un flux tèrmic elevat durant un període de temps llarg.
2. Un aquífer apropiat, asequible mitjançant sondeigs mecànics i sotmès a les altes temperatures de la font calorífica. El dipòsit ha d'ésser molt permeable, i alguns autors assenyalen que aquesta propietat ha d'ésser capaç de mantenir un sistema de convecció.
3. Un complex de materials impermeables (amb impermeabilitat primària o secundària) sobre l'aquífer, si bé aquesta condició no és necessària en el cas de fluids per sota del nivell d'ebullició. La base de l'aquífer ha de ser impermeable o tenir una permeabilitat molt inferior a la del dipòsit productiu.
4. Una zona de recàrrega de l'aquífer, ja que la producció i la vida activa del camp depèn en gran part de l'equilibri hidrològic del sistema. En els camps productius actuals s'ha comprovat un ampli marge en l'edat dels fluids que s'extreuen; si bé en tots els casos els fluids tenen un origen meteòric, a vegades existeix la possibilitat de contaminació de fluids magmàtics.
5. Una extracció i explotació rentable del sistema fluid-calor i, si fos el cas, dels subproductes.

En planejar l'estudi d'un possible recurs geotèrmic cal intentar de posar de manifest els punts abans esmentats, i a això han d'encaminar-se les campanyes de prospecció successives, les quals, en molts casos, necessitaran de l'arrodoniment de noves tècniques.

En la prospecció geotèrmica s'han seguit els passos de la d'hidrocarburs. Partint de manifestacions superficials molt aparatoses, es feren els primers sondeigs, i després d'obtenir una producció d'interès s'amplià la investigació a regions carents de fenòmens externs, l'estructura i ambient geològic de les quals permetien de suposar que eren favorables per l'explotació.

L'entitat i categoria de les manifestacions superficials, per elles mateixes, no constitueixen un índex capaç d'avaluar la importància econòmica del camp, per la qual cosa no són en absolut menyspreables les menors indicacions d'activitat geotèrmica. De fet, un dels camps geotèrmics més rendibles d'Itàlia, Monte Amiata, tenia unes manifestacions superficials escasses.

A grans trets podem considerar els fenòmens següents com els indicadors més expressius de les àrees geotèrmiques:

- a) Vulcanisme recent.
- b) Zones d'alteració hidrotermal
- c) Emanacions de vapor calent o gasos.
- d) Fonts termals i minerals.
- e) Determinades mineralitzacions i dipòsits de sals.
- f) Anomalies tèrmiques.

L'elecció de les tècniques d'exploració depèn del tipus de manifestacions que presenti la zona. Hom aplica amb èxit la prospecció de base geoquímica, consistent en l'anàlisi de les aigües termals per a identificar el seu origen i evolució. La relació entre les concentracions de diferents elements ens permet també de conèixer la temperatura del fluid en el dipòsit, emprant per a tal fi taules i fórmules empíriques. Recentment, l'estudi de la geoquímica isotòpica dels fluids endògens s'ha revelat com a molt significativa en la prospecció geotèrmica.

Els diversos mitjans que aporta la Geofísica ens permeten d'establir distints models de la regió en estudi. A continuació anem a citar molt breument alguna d'aquestes tècniques.

Mètodes sísmics

Un estudi sísmic de la regió geotèrmica pot posar de manifest la presència d'un focus sísmic degut als fenòmens convectius, així com una certa activitat sísmica associada a una possible intrusió magmàtica o a un mecanisme de falles. En general aquest tipus d'estudi és molt representatiu del sistema geotèrmic, i la seva economia el fa recomenar en una primera fase.

A aquestes tècniques cal afegir-hi les clàssiques de gravimetria i sísmica de reflexió i refracció, que ens permeten d'obtenir un coneixement estructural de la regió, de manera semblant al seguit en la prospecció petrolífera.

Altres tècniques, com la utilització de les dades obtingudes pels satèl·lits de recursos terrestres, i molt especialment l'anàlisi de les marees terrestres, estan ara en estudi.

Termometria

A primer cop d'ull sembla ser la tècnica més adequada per a l'estudi del fenomen geotèrmic. Ara bé, les dificultats experimentals en quan a la determinació dels gradients geotèrmics i les perturbacions degudes a fenòmens quasi superficials i el caràcter convectiu del sistema, limiten en gran part els resultats termomètrics, de tal manera que només són representatives les anomalies molt superiors al gradient geotèrmic normal. Un criteri que cal no oblidar a l'hora de planejar una campanya termomètrica és el de situar el sistema de termòmetres per sota dels aquífers superficials.

Mètodes elèctrics

En algun cas els sondeigs elèctrics verticals poden donar resultats interessants, encara que, en general, la poca penetrabilitat del mètode limita el seu camp d'aplicació. Més interessant és el traçat de mapes de resistivitat aparent, i especialment del potencial espontani i corrents telúrics.

Els mètodes magnetotelúrics s'han aplicat amb èxit en algunes ocasions, si bé la seva aplicació queda limitada per dificultats instrumentals i d'interpretació.

Pot dir-se el mateix respecte als mètodes magnètics, aplicables amb bons resultats només en zones amb temperatures molt altes.

Camps geotèrmics a Espanya

Ni que existeixi una gran quantitat de dades, encara que disperses, no pot dir-se que actualment, a nivell d'Estat espanyol, s'hagi portat a terme un estudi seriós de les possibilitats reals d'exploració d'Energia Geotèrmica. A escala de l'Estat espanyol, l'Empresa Nacional Adaro i el Instituto Geológico y Minero de España han portat a terme el Proyecto Inventario de los Recursos Geotérmicos de España, on s'agrupen les característiques hidrogeoquímiques i termals de les manifestacions més significatives, gran part de les quals són conegudes des de fa molt temps.

A nivell local, sobre determinades àrees s'han portat a terme estudis de detall més complets. El grup del Laboratorio de Vulcanología y Geotermia del Instituto Lucas Mallada (C.S.I.C.) ha realitzat distintes campanyes de prospecció sobre el camp geotèrmic de Montañas del Fuego, a Lanzarote, que actualment es troba a punt d'iniciar-se en la fase de sondeigs profunds, a càrrec de l'I.N.I.

Així mateix, aquest grup ha col·laborat amb l'IGME i ENADIMSA en el desenvolupament d'una primera fase d'exploració per a l'«avaluació del potencial geotèrmic de la Conca de Mula» (Múrcia).

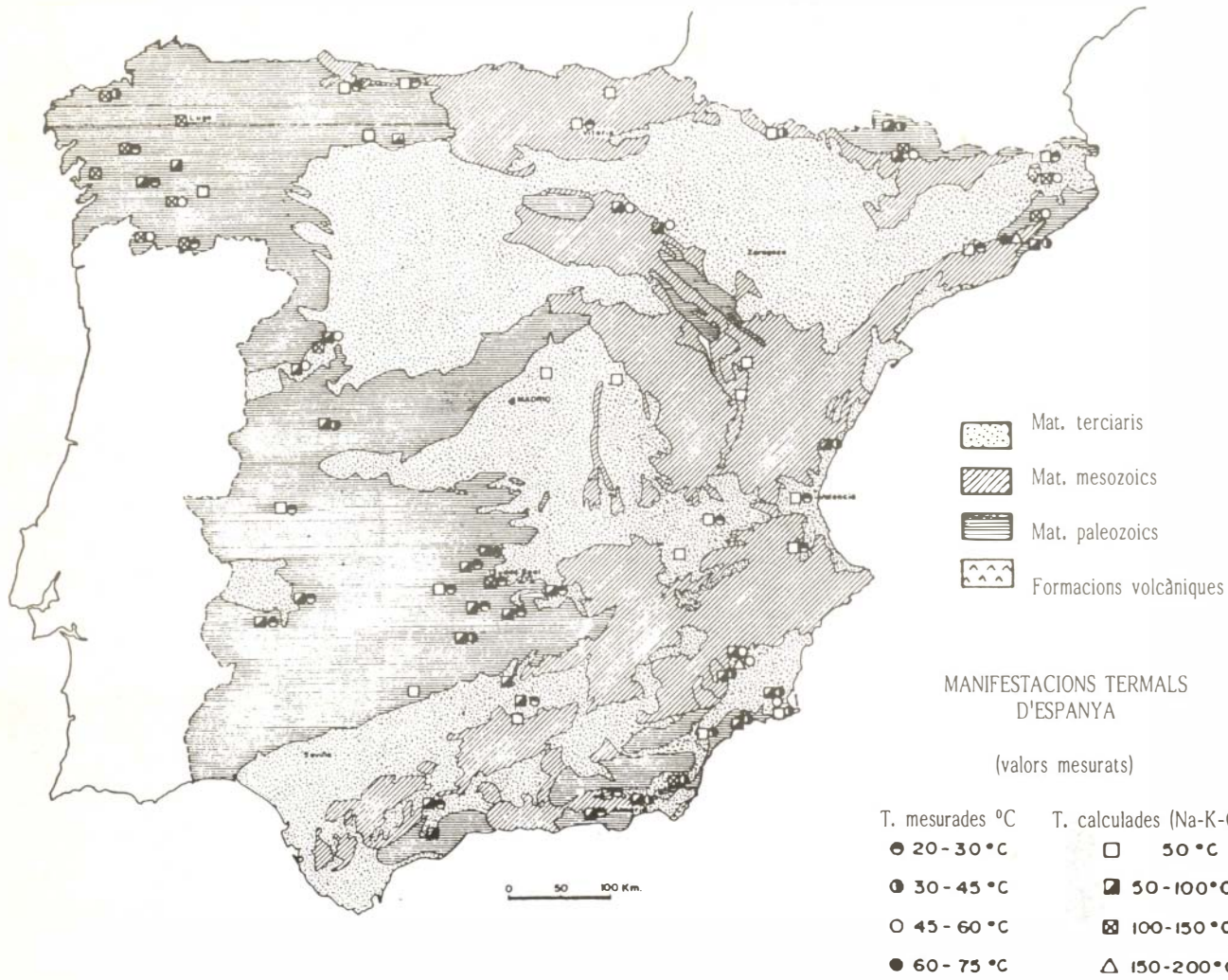
Les investigacions realitzades a nivell d'Estat espanyol, mitjançant l'«Inventario de manifestaciones geotérmicas», han servit per a detectar zones que presenten un potencial geotèrmic susceptible de ser explotat. Ara bé, aquestes dades són provisionals i sens dubte necessiten d'una investigació que fins ara encara no ha estat realitzada.

En línies generals, en totes les grans conques sedimentàries (Tajo, Duero, etc.) existeixen possibilitats d'explotació productiva d'aquífers de baixa entalpia, amb temperatures mitjanes compreses entre 70-80° C, i a profunditats d'aproximadament uns 2.000 m, aptes per a múltiples aplicacions, en particular per a la calefacció urbana.

Respecte a la localització de zones geotèrmiques amb temperatures altes, que poden suggerir l'existència de camps geotèrmics d'entalpia alta a mitjana, el seu nombre, tenint en compte les dades actualment disponibles, és més reduït, centrant-se en aquelles regions amb vulcanisme molt recent o on les característiques geodinàmiques poden condicionar l'existència d'un contexte geològic-hidrogeològic apropiat. D'aquestes característiques són les zones ja esmentades (Canàries i Conca de Mula) i Catalunya.

A Catalunya, les zones amb manifestacions més significatives es troben a la Depressió del Vallès, entre els sistemes litoral i prelitoral. Aquestes zones presenten unes característiques morfològic-tectòniques apropiades, amb una conca sedimentària important, constituïda per formacions plioceno-miocenes sobre un zòcal paleozoic. Aquest possible camp geotèrmic està limitat per accidents tectònics importants i els materials plutònics que constitueixen un extens batolít intrusiu sobre els materials paleozoics i manifestacions termals, tals com les de Caldes de Montbui i Estrac, Pucha de Montserrat i la Garriga. Les temperatures de surgència són bastant elevades, arribant a ser, en alguns punts, de l'ordre de 60-75° C a la superfície.

Les característiques termals i hidrogeoquímiques, obtingudes després d'una primera revisió de les dades agrupades a l'Inventari de manifestacions, posa de relleu la possible existència, en alguns casos, de temperatures de base sempre superiors a la temperatura de surgència i amb uns valors mitjans compresos entre els 120-160° C, així com característiques indicatives d'una circulació hidrològica profunda, independentment de processos de mescla amb altres tipus superficials perturbadors.



Així mateix, la regió volcànica d'Olot presenta un vulcanisme basàltic recent i, a escala regional, manifestacions termals amb temperatures de surgència mitjanes properes als 50 °C i temperatures de base per sobre dels 100 °C.

Aquestes dades, òbviament escadusseres i de caràcter general, justifiquen per elles mateixes qualsevol tipus d'inversió econòmica encaminada a efectuar una evaluació dels recursos geotèrmics, tenint en compte la seva possible utilització en diferents camps energètics industrials o aplicats a l'agricultura.

Referències

Afonso, A., R. Ortiz, E. R. Badiola i J. Yuguero (1974): Estudio de la anomalía térmica de Montaña de Fuego (Lanzarote). *Bol. Geol. y Min.*, 84-4, 413-420.
 Araña, V., R. Ortiz i J. Yuguero (1973): Thermal anomalies in Lanzarote (Canary Islands). *Geothermics*, 2, 2.
 Afonso, A., V. Araña, R. Ortiz, E. R. Badiola i J. Yuguero (1974): Posibilidad de explotación de Energía Geotérmica en Lanzarote (Islas Canarias). *Simp. Intern. sobre Hidrogeología de Terrenos Volcánicos*. UNESCO, Lanzarote.
 Araña, V. (1975): La Energía Geotérmica, su utilización y su futuro. *ARBOR*, 351.
 Araña, V. i J. López Ruiz (1975): *Volcanismo. Dinámica y Petrología de sus productos*. Edit. Istmo, Madrid, 486 p.
 Pavía, J. R. Ortiz, E. Banda, E. R. Badiola i V. Araña (1977): Perfil sísmico del NE de Lanzarote. Proyecto Geodinámico. Grupo de trabajo de perfiles sísmicos profundos.
 Torroja, J. M., R. Vieira i R. Ortiz (1974): La estación de mareas terrestre del Valle de los Caídos. *I Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
 Ortiz, R. i R. Vieira (1974): Sistema de detección y registro de información aplicada a la instrumentación de una estación de marcas terrestres. *I Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Madrid.

Alonso, F. (1974): Mapas gravimétricos de las islas Baleares y de las de Lanzarote y Fuerteventura. *I Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
 Araña, V., R. Ortiz, J. Yuguero i E. R. Badiola (1974): Aplicación de técnicas geofísicas a la prospección geotérmica. *I Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
 Araña, V. i A. García Luis (1974): Características de los fluidos geotérmicos en las Montañas de Fuego (Lanzarote). *I Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
 Araña, V. i C. Panichi (1974): Isotropic composition of Steam Samples from Lanzarote, Canary Islands. *Geothermics*, 3, 4.
 Doria, J., J. Yuguero i R. Ortiz (1975): Estudio analógico de distribución de temperaturas en una zona volcánica. *Anales de Física de la R.S.E.F. y Q.*, 71, 109.
 Ortiz, R. i J. Yuguero (1974): Desarrollo de un modelo analógico para el estudio de procesos con fluidos geotérmicos. *An. Fis.*, 70, 381.
 Ortiz, R., E. R. Badiola i V. Araña (1976): Análisis espectral en prospección microsísmica. *II Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Barcelona (en prensa).
 Ortiz, R. (1976): Desarrollo de equipos para prospección sísmica. *II Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Barcelona (en prensa).
 Araña, V., R. Ortiz, E. R. Badiola, E. Banda i J. Pavía (1976): Modelo estructural de la Isla de Lanzarote a partir de Perfiles Sísmicos. *II Asam. Nac. de Geodesia y Geofísica*. Barcelona (en prensa).
 Panichi, C. i E. R. Badiola (1977): Utilización del geotermómetro Na-K-Ca en la prospección preliminar de áreas geotérmicas. *Bol. Geol. y Min.* (en prensa).

R. Ortiz,** E. R. Badiola,* V. Araña,*
 A. Correig * i J. Pavía