



Facultat de Ciències
Departament de Física

TESI DOCTORAL

2012

**EL RADÓ
EN ACTIVITATS LABORALS:
INSTRUMENTACIÓ,
PROTECCIÓ RADIOLÒGICA
I GEOLOGIA**

Victòria Moreno Baltà

Directors:

Dra. Carmen Baixeras Divar
Dr. Lluís Font Guiteras

Annex D: Mapes amb la distribució de punts de mesura de la radiació gamma terrestre a la zona volcànica de la Garrotxa.

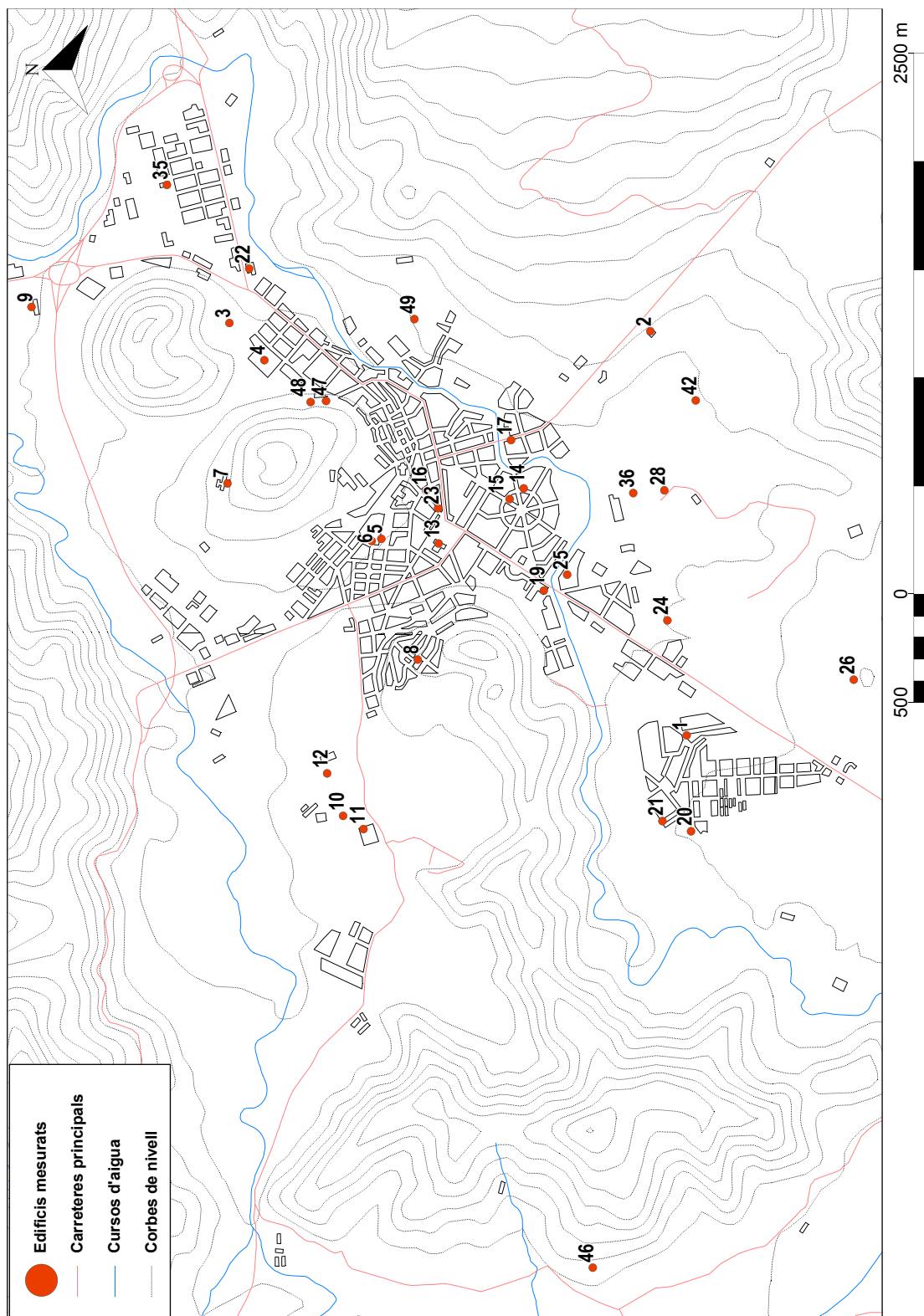


Figura D.1. Distribució dels edificis on es realitzen mesures interiors sobre un mapa topogràfic d'Olot.

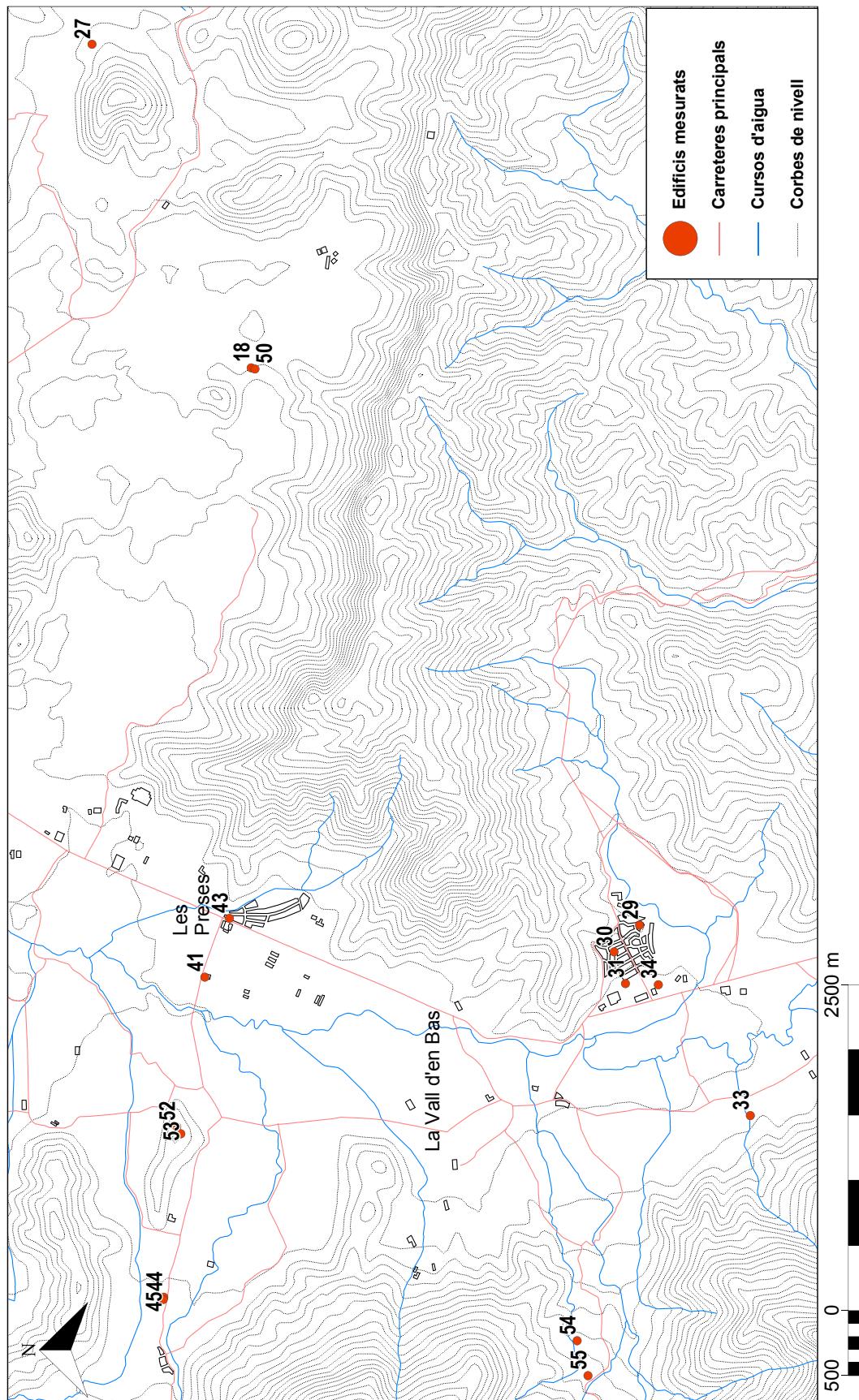


Figura D.2. Distribució dels edificis on es realitzen mesures interiors sobre un mapa topogràfic de Les Preses i La Vall d'en Bas.

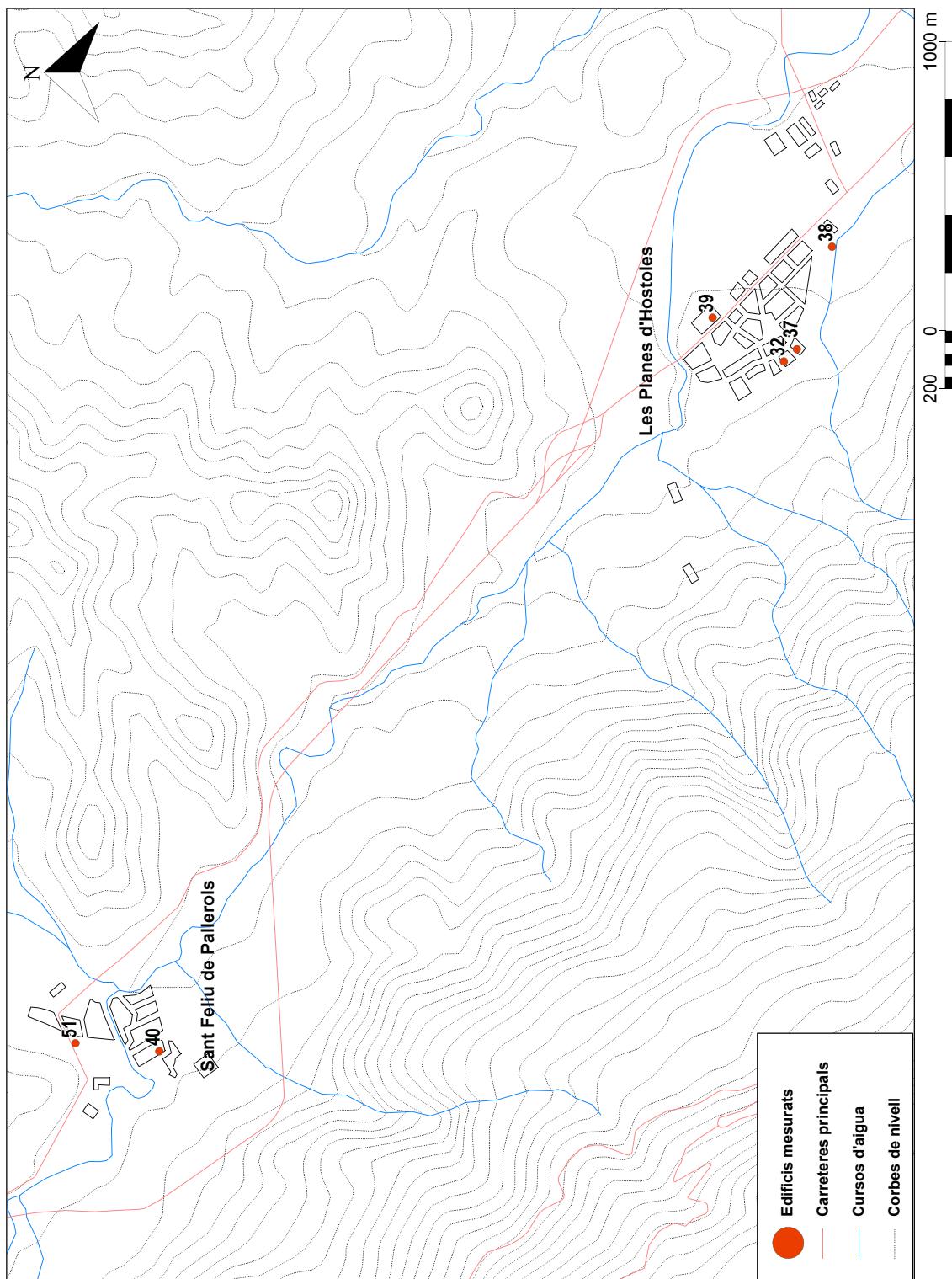


Figura D.3.Distribució dels edificis on es realitzen mesures interiors sobre un mapa topogràfic de Sant Feliu de Pallerols i Les Planes d'Hostoles.

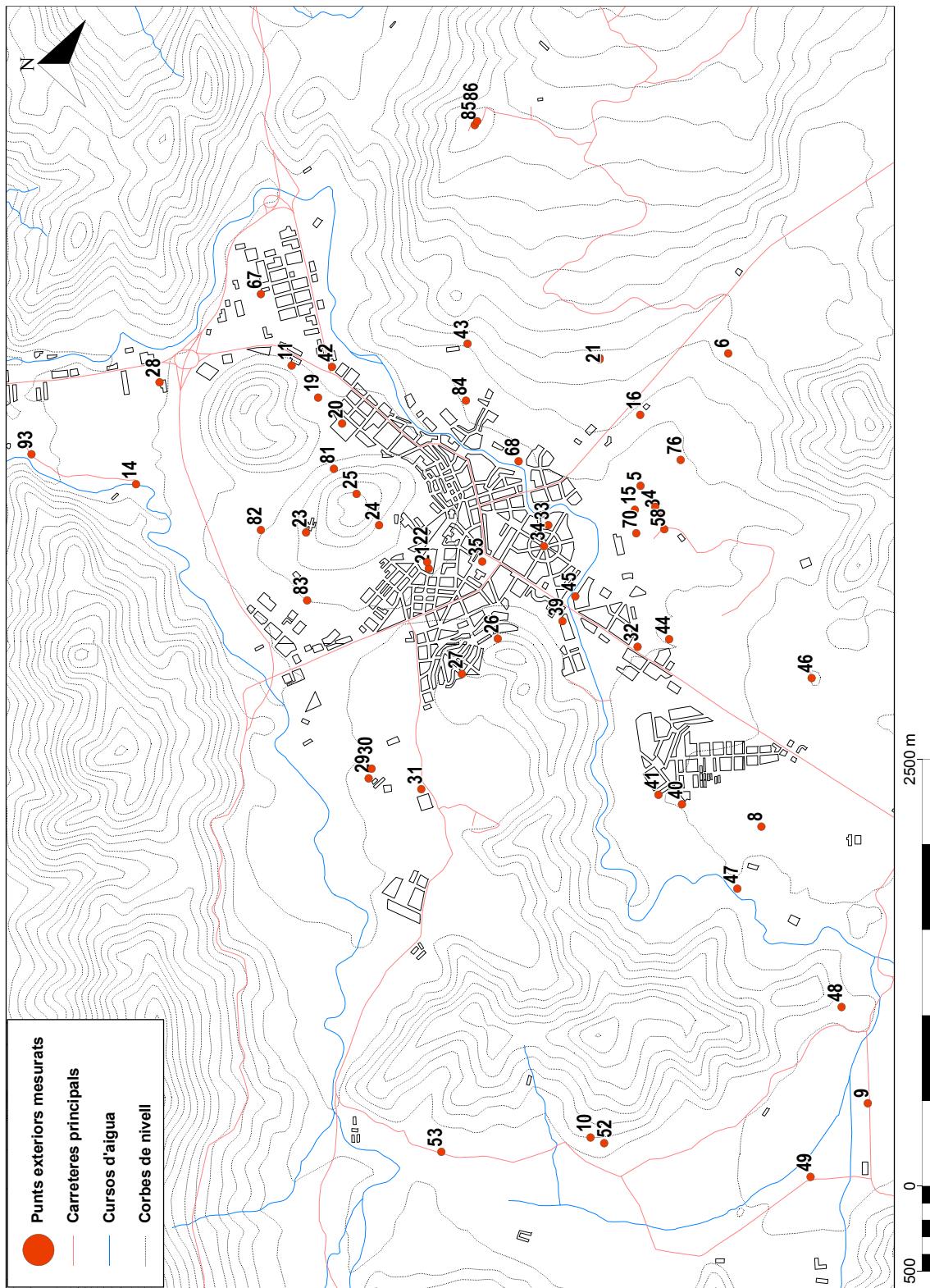


Figura D.4. Distribució dels punts de mesura a l'aire exterior sobre un mapa topogràfic d'Olot.

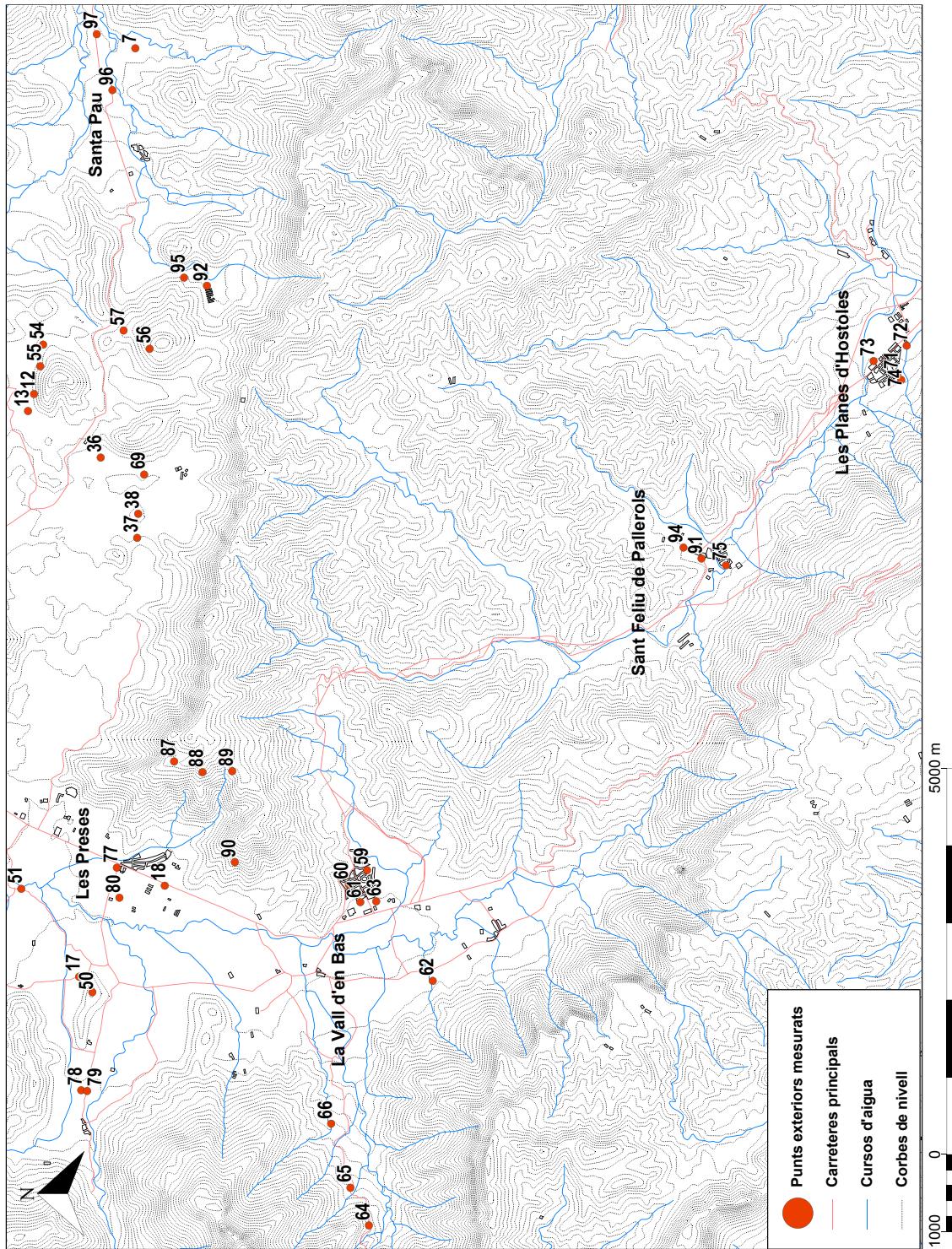


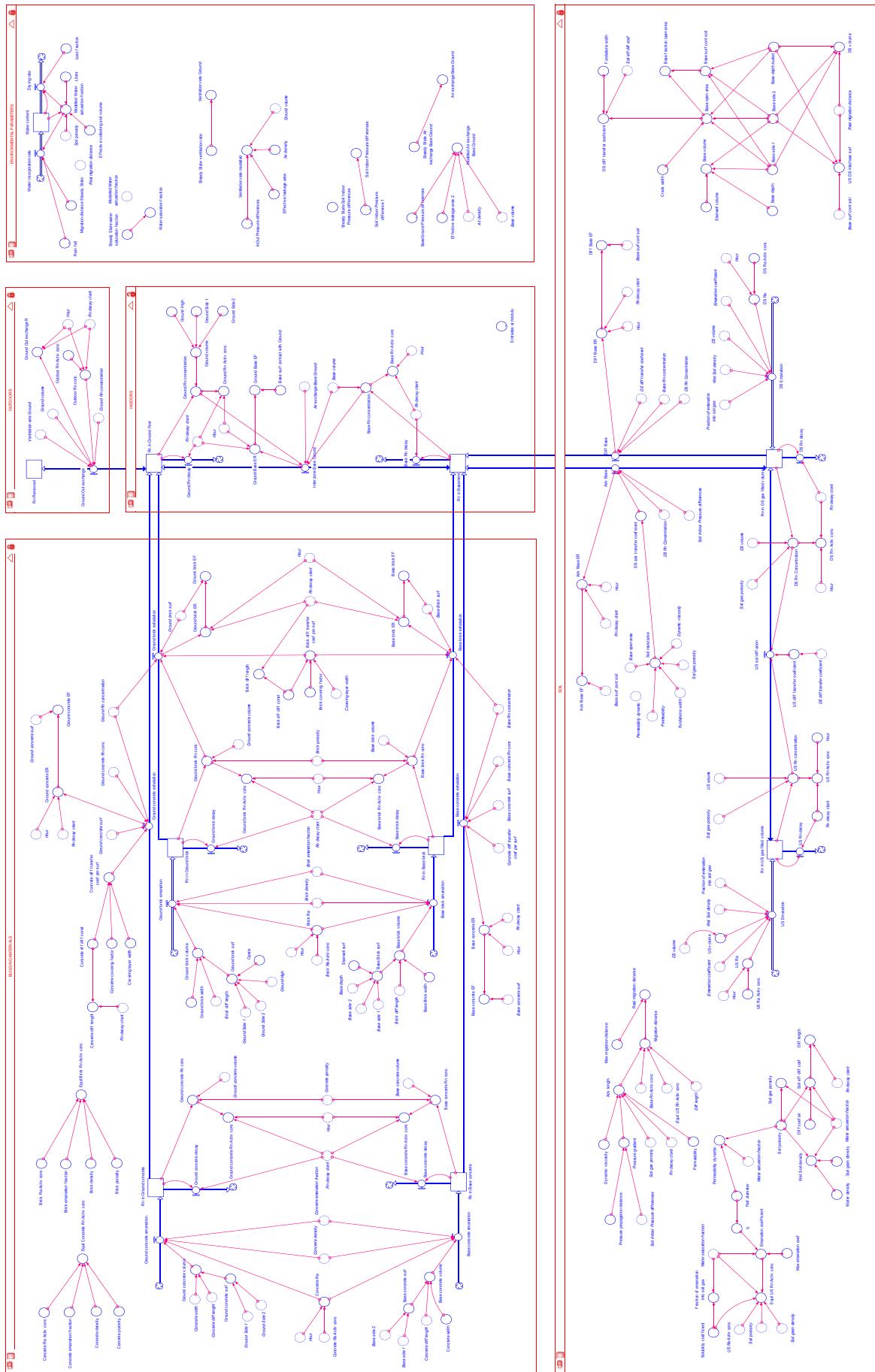
Figura D.5. Distribució dels punts de mesura a l'aire exterior sobre un mapa topogràfic del sud de la Garrotxa.

Annex E: Recollida i processat de mostres de sòl per espectrometria gamma.

Els passos a seguir per recollir i preparar una mostra de sòl per fer una mesura amb el sistema d'espectrometria gamma són els següents:

1. A cada punt es recull més d'1 dm³ de material de sòl no alterat i es col·loca a l'interior d'una bossa de plàstic correctament etiquetada
2. Quan la mostra de material arriba al laboratori es comprova l'etiquetatge i s'anota tota la informació corresponent en un full de control.
3. Es col·loca una quantitat del material dins una safata d'alumini i es pesa amb la balança electrònica.
4. S'asseca la mostra a dins l'estufa a 60 °C durant unes 24 hores.
5. Es torna a pesar la mostra per determinar la quantitat d'aigua que tenia.
6. Es tritura la mostra amb el molinet per aconseguir la seva homogeneïtzació. En cas de que els fragments de la mostra siguin més grans que l'entrada al molinet es procedeix a triturar-les amb la massa fins que puguin entrar.
7. Es neteja el molinet amb una botxa per evitar contaminació entre mostres.
8. La mostra triturada es col·loca en una geometria Marinelli de 1000 cm³, es segella i s'emmagatzema durant uns 21 dies per tal d'assegurar l'equilibri secular entre el ²²⁶Ra, el ²²²Rn i els seus descendents de vida mitja curta.
9. Un cop assolit l'equilibri es mesura la mostra per espectrometria gamma amb el detector de germani descrit a l'apartat 4.2.5. Amb el programa CANBERRA Genie 2000 Gamma Adquisition & Analyses es porta el control de la mesura.
10. Mitjançant el programa Genie 2000 es porta a terme l'anàlisi progressiu dels espectres. Aquesta anàlisi té les següents etapes:
 - a. Subtracció del fons per cada pic.
 - b. Correcció segons l'eficiència de la geometria.
 - c. Identificació dels radionúclids de l'espectre.
 - d. Quantificació de l'àrea.
 - e. Correccions per les interferències: resolució de doblets i triplets.
 - f. Càcul de les activitats específiques.
 - g. Possible càlcul per desintegració del pare o fill.
 - h. Càcul dels límits de detecció.
 - i. Presentació de resultats per impressió.

Annex F: Diagrama del model RAGENA pel mòdul de Saelices El Chico.



Glossari d'acrònims

CEC	Comissió de les Comunitats Europees
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Espanya)
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear (Espanya)
ETcc	Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Espanya)
FzK	Forschungszentrum Karlsruhe (Alemanya)
GM	Detector Geiger-Müller
HPA	Health Protection Agency (Regne Unit)
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya
ICRP	Comissió Internacional de Protecció Radiològica
INTE	Institut Nacional de Tècniques Energètiques (UPC)
KIT	Karlsruhe Institute of Technology (d'Alemanya)
NRPB	National Radiological Protection Board (Regne Unit)
OMS	Organització Mundial de la Salut
PNZVG	Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa
PR	Protecció Radiològica
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Alemanya)
RPSRI	Reglament de Protecció Sanitària contra Radiacions Ionitzants
SD	Desviació estàndard
SI	Sistema Internacional d'unitats
TLD	Detector de termoluminescència
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona (Espanya)
UC	Universitat de Cantàbria (Espanya)
UFR	Unitat de Física de les Radiacions (UAB)
UGEH	Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia (UAB)
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya (Espanya)
UNSCEAR	Comitè Científic de les Nacions Unides pels Efectes de la Radiació Atòmica
UTPR	Unitat Tècnica de Protecció Radiològica (UAB)
WHO	World Health Organization (OMS)

Referències

Albarracín Martínez, Diego (1999). *TRANSRAD: un modelo para el transporte del radón del suelo al interior de viviendas en estado estacionario y transitorio*. Tesi doctoral presentada al Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Albarracín, D.; Font, Ll.; Amgarou, K.; Domingo, C.; Fernández, F.; Baixeras, C. (2002). "Effect of Soil Parameters on Radon Entry into a Building by Means of the TRANSRAD Numerical Model". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 102, vol. 4, pàg. 359-363).

Amgarou, Khalil (2002). *Long-term measurements of indoor radon and its progeny in the presence of thoron using nuclear track detectors: A novel approach*. Tesi doctoral presentada al Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Andersen, Claus E. (2001). "Numerical modelling of radon-222 entry into houses: an outline of techniques and results". *Science of the Total Environment* (núm. 272, pàg. 33-42).

Ånestad K.; Rönnqvist T.; Jensen C. L. (2007). "Measuring radon levels at high exposures with alpha-track detectors". A: *StrålevernRapport 2007:4*. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority.

Appleton, J. D. (2007). "Radon: Sources, Health Risks, and Hazard Mapping". *AMBI/O: A Journal of the Human Environment* (núm 36, vol. 1, pàg. 85-89).

Aragonès, E. (2001). "Descobrint el vulcanisme quaternari de la Garrotxa: De les observacions precientífiques als primers estudis geològics (s. XVI-XIX)". *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona* (núm. 10, pàg. 77-125).

Arnold, D.; Vargas, A.; Ortega, X. (2009). "Analysis of outdoor radon progeny concentration measured at the Spanish radioactive aerosol automatic monitoring network". *Applied Radiation and Isotopes* (núm. 67, pàg. 833-838).

Azimi-Garakani, D.; Flores, B.; Piermattei, S.; Susanna, A. F.; Seidel, J. L.; Tommasino, L.; Torri, G. (1988). "Radon gas sampler for indoor and soil measurements and its applications". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 24, pàg. 269-72).

Bach, Joan (2005). *Tasques de control de les aigües subterrànies al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. Informe presentat al PNZVG. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Bach, J.; Baixeras, C.; Font, Ll.; Moreno, V. (2007a). *Estudi i caracterització dels bufadors de la zona volcànica de la Garrotxa*. Informe presentat al Parc Natural de la zona volcànica de la Garrotxa. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Bach, J.; Baixeras, C.; Font, Ll.; Moreno, V. (2007b). *Estudi de les concentracions de radó a les aigües subterrànies de la zona volcànica de la Garrotxa*. Informe presentat al Parc Natural de la zona volcànica de la Garrotxa. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Baixeras, C.; García, I.; Fernández, F.; Domingo, C.; Vidal-Quadras, A.; Gutierrez, J. (1989). "Puesta a punto de un dosímetro pasivo para la medida de radón en el interior de edificios". A: *III Congreso de protección radiológica* (pàg. 655-666). Congrés 29 Nov-1 Dic de 1989, València.

Baixeras, C.; García, I.; Fernández, F.; Domingo, C.; Vidal-Quadras, A.; Piesch, E. (1991). "Indoor radon concentration measurements in some spanish houses and dwellings with nuclear track detectors". *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* (núm 19, pàg. 279-282).

Baixeras, C.; Bacmeister, G. U.; Climent, H.; Albaracín, D.; Enge, W.; Freyer, K.; Treuler, H. C.; Jönsson, G.; Ghose, R.; Monnin, M. M.; Font, Ll.; Devantier, R.; Seidel, J. L.; Sciocchetti, G.; Cotellessa, G. (1996). "Report on the first phase activity of an EU project concerning coordinated radon measurements in Five european countries". *Environment International* (núm. 22, vol. 1, pàg. 687-697).

Baixeras, C.; Font, Ll. (1996). "Indoor radon survey in the most populated areas in Spain". *Environment International* (núm 22, vol. 1, pàg. 671-676).

Baixeras, C.; Bach, J.; Amgarou, K.; Moreno, V.; Font, Ll. (2005a). "Radon levels in the volcanic region of La Garrotxa, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 40, pàg. 509-512).

Baixeras, C.; Pascual, A.; Moreno, V.; Font, Ll. (2005b). "Niveles de radón en el metro de Barcelona". *Radioprotección* (núm. 45, vol. XII, pàg. 58-62).

Barbosa, S. M.; Zafrir, H.; Malik, U.; Piatibratova, O. (2010). "Multiyear to daily radon variability from continuous monitoring at the Amram tunnel, southern Israel". *Geophysical Journal International* (núm. 182, pàg. 829–842).

Barillon, R.; Violette, S.; Nicolini, E.; Klein, D.; Chamaudet, A.; Carbonnel, J.P.; Heath, M. J.; Merefeld, J. (1993). "Continuous measurements of radon content in groundwater on the volcanic site of "Piton de la fournaise" (Island of Reunion, France)". *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* (núm. 22, pàg. 277-280).

- Bouassoule, T.; Fernández, F.; Marin, M.; Tomás, M. (1999). "A dosimeter based on nuclear etched track detectors for thermal, fast and high energy neutron with flat response". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 85, pàg. 39-43).
- Buecher, R. (1999). "Microclimate study of Kartchner Caverns, Arizona". *Journal of Cave and Karst Studies* (núm. 61, vol. 2, pàg. 108–120).
- Casacuberta, N.; Masqué, P.; Garcia-Orellana, J.; Bruach, J. M.; Anguita, M.; Gasa, J.; Villa, M.; Hurtado, S.; Garcia-Tenorio, R. (2009). "Radioactivity contents in dicalcium phosphate and the potential radiological risk to human populations". *Journal of Hazardous Materials* (núm. 170, pàg. 814-823).
- Casas, M.; Baixeras, C.; Vidal-Quadras, A.; Ortega, M.; Fernández, F. (1983). "Measurement of the relative composition of the cosmic ray iron group with lexan polycarbonate". *Astrophysics and Space Science* (núm. 94, pàg. 371-381).
- CEC (1990). 90/143/EURATOM: Recomendación de la Comisión, de 21 de febrero de 1990, relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. *D.O.C.E.*, 27/03/1990, núm. L 080, pàg. 0026-0028.
- CEC (2001). 2001/928/EURATOM: Commission Recomendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. *D. O. C. E.*, 28/12/2001, núm. L 344/85.
- CEU (1996). Directiva 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. *Diario Oficial*, núm. L 159, pàg. 1-114.
- CE (2009). *European Commission Services considerations with regard to natural radiation sources in BSS Directive*.
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/consultations/doc/2009_04_20_natural_radiation_sources.pdf
- CE (2011). *2011/0170 (NLE) Proposal for a Council Directive laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption*.
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/com_2011_385.pdf
- Cherta Val, Anna (2008). *Nivells de radó en exteriors i recintes tancats a la Marjal Càrtica de Peñíscola*. Treball de final de carrera de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Chopin, G.; Rydberg, J.; Liljenzin, J.O. (2002). *Radiochemistry and Nuclear Chemistry* (720 pàgines). Hardbound: Elsevier Inc. ISBN: 978-0-7506-7463-8
- Conesa, A.; Jordà, X.; Moreno, V.; Font, V.; Baixeras, C.; Román, M.; Velasco, G. (2011). "Diseño de un ondulador de Alto voltaje para el revelado electroquímico de detectores plásticos de radón". A: *Actas del XVIII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación* (pàg. 561-566). Congrés. Badajoz: Universidad de Extremadura.

Cosma, C.; Moldovan, M.; Dicu, T.; Kovacs, T. (2008). "Radon in water from Transylvania (Romania)". *Radiation Measurements* (núm. 43, pàg. 1423-1428).

CSN (2010). *Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire*. Guía de Seguridad 11.01. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.

CSN (2012). *Instrucción IS-33 de Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos frente a la exposición a radiación natural*.

<<http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/normativa/is-33.pdf>>

Currie, Lloyd A. (1999a). "Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities (IUPAC Recommendations 1995)". *Analytica Chimica Acta* (núm. 391, pàg. 105-126).

Currie, Lloyd A. (1999b). "Detection and quantification limits: origins and historical overview". *Analytica Chimica Acta* (núm. 391, pàg. 127-134).

D'Alessandro, W.; Vita, F. (2003). "Groundwater radon measurements in the Mt. Etna area". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 65, pàg. 187-201).

De Francesco, S.; Pascale Tommasone, F.; Cuoco, E.; Verrengia, G.; Tedesco, D. (2010). "Radon hazard in shallow groundwaters: Amplification and long term variability induced by rainfall". *Science of the Total Environment* (núm. 408, pàg. 779-789).

Dentener, F.; Feichter, J.; Jeuken, A. (1999). "Simulation of the transport of Rn-222 using on-line and off-line global models at different horizontal resolutions: a detailed comparison with measurements". *Tellus* (núm. 51, vol. B, pàg. 573-602).

Domenech, V. (2003). "Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas". A: *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: Litoral mediterráneo*. Fornés, J.M., Llamas, M.R. (editores). Madrid: Mundi-Prensa Libros.

Domingo, C.; Font, J.; Baixeras, C.; Fernández, F. (1996). "Source abundances of ultra heavy elements derived from UHCRE measurements". *Radiation Measurements* (núm. 26, pàg. 825-832).

Domingo, C.; Font, J.; Baixeras, C.; Font, Ll.; Fernández, F. (1998). "Usage of a corrected Bethe-Bloch formula for charge identification of fast ions with $Z \geq 30$ recorded in polycarbonate track detectors". *Nuclear Instruments and Methods in Physics* (núm. 146, pàg. 114-119).

Domingo, C.; Font, Ll.; Fernández, F.; Baixeras, C. (2003). "Identification of non-stopping ions with $Z > 65$ in polycarbonate track detector stacks". *Radiation Measurements* (núm. 36, pàg. 281-285).

Dueñas, C.; Fernández, M. C.; Enríquez, J.; Carretero, J.; Liger, E. (1998). "Natural radioactivity levels in Andalusian spas". *Water Research* (núm. 32, pàg. 2271-2278).

Dueñas, C.; Fernández, M. C.; Cañete, S.; Pérez, M.; Gordo, E. (2011). "Seasonal variations of radon and the radiation exposure levels in Nerja cave, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 46, pàg. 1181-1186).

Espinosa, G.; Golzarri, J. I.; Gammage, R. B.; Sajo-Bohus, L.; Viccon-Pale, J.; Signoret-Poillon, M. (2008). "Seasonal variation measurements of radon levels in caves using SSNTD method". *Radiation Measurements* (núm. 43, pàg. S364-S368).

Fernández-Aldecoa, J. C.; Robayna, B.; Allende, A.; Poffjin, A.; Hernández-Armas, J. (1992). "Natural Radiation in Tenerife (Canary Islands)". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 45, vol. 1-4, pàg. 545-548).

Fernández de Aldecoa, José Carlos (2000). Radiación natural en aire y suelos de las islas Canarias occidentales. Tesi doctoral presentada al Departamento de Medicina Física y Farmacología de la Universidad de la Laguna.

Ferrer, P.; Masana, E.; Santanach, P. (1999). "Geomorphological features of the Amer fault recent activity (NE Iberian Peninsula)". *Acta Geológica Hispánica* (núm. 4, pàg. 17-24).

Finkelstein, M.; Eppelbaum, L.V.; Price, C. (2006). "Analysis of temperature influences on the amplitude-frequency characteristics of Rn gas concentration". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 86, pàg. 251-270).

Fisher, Diana M. (2007). *Modelling Dynamic Systems. Lessons for a First Course*. Second Edition. STELLA software, isee Systems, inc. ISBN 978-0-9704921-9-7

Fleta, J.; Santanach, P.; Goula, X.; Martínez, P.; Grellet, B.; Masana, E. (2001). "Preliminary geologic, geomorphologic and geophysical studies for the paleoseismological analysis of the Amer fault (NE Spain)". *Netherlands Journal of Geosciences* (núm. 80, pàg. 243-253).

Font Guiteras, Lluís (1993). *Determinació de la concentració de radó a l'interior d'Edificis amb detectors plàstics de tracs*. Treball de recerca de Tercer Cicle presentat en el Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Font Guiteras, Lluís (1997). *Radon generation, entry and accumulation indoors*. Tesi doctoral presentada en el Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Font, L.; Baixeras, C.; Jönsson, G.; Devantier, R.; Monnin, M. M.; Albarracín, D.; Ghose, R.; Freyer, K.; Treutler, H. C.; Seidel, J. L.; Garcia, R. (1999a). "Continuous measurements of soil radon under regular field conditions". *Il Nuovo Cimento* (núm 22, vol. C, pàg. 589-595).

Font, L.; Baixeras, C.; Jönsson, G.; Enge, W.; Ghose, R. (1999b). "Application of a radon model to explain indoor radon levels in a Swedish house". *Radiation Measurements* (núm. 31, pàg. 359-362).

Font, L.; Baixeras, C.; Domingo, C. (2001). "Uncertainty, variability and sensitivity analysis applied to the RAGENA model of radon generation, entry and accumulation indoors". *The Science of the Total Environment* (núm. 272, Pàg. 25-31).

Font, Ll.; Baixeras, C. (2003). "The RAGENA dynamic model of radon generation, entry and accumulation indoors". *The Science of the Total Environment* (núm. 307, pàg. 55-69).

Font, Ll.; Baixeras, C.; Moreno, V. (2008a). "Indoor radon levels in underground working places of Catalonia, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 43; pàg. S467-S470).

Font, Ll.; Baixeras, C.; Moreno, V.; Bach, J. (2008b). "Soil radon levels across the Amer fault". *Radiation Measurements* (núm. 43, pàg. S319-S323).

Font, Ll. (2009). "On radon surveys: Design and data interpretation". *Radiation Measurements* (núm. 44, vol. 9-10, pàg. 964-968).

Frutos, B.; Olaya, M.; Esteban, J.L. (2011). "Sistemas de extracción como técnicas constructivas para evitar la entrada de gas radón en las viviendas". *Informes de la Construcción* (núm. 521, vol. 63, pàg. 23-26).

Gammage, R. B.; Dudney, C. S.; Wilson, D. L.; Saultz, R. J.; Bauer, B. C. (1992). "Subterranean transport of radon and elevated indoor radon in hilly karst terrains". *Atmospheric Environment* (núm. 26, vol. A, pàg. 2237-2246).

García Saíz, Isabel (1990). *Puesta a punto de un dosímetro pasivo para la medida de radón en el interior de edificios*. Treball de recerca de Tercer Cicle presentat en el Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

García Orellana, Jordi (2004). *Distribució i transferència de ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{210}Pb al mar Mediterrani: la conca Alguero-Balear*. Tesi doctoral presentada en el Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

García, M. J.; Amgarou, K.; Domingo, C.; Fernández, F. (2005). "Neutron response study of two CR-39 personal dosemeters with air and Nylon converters". *Radiation Measurements* (núm. 40, pàg. 607-611).

García-Talavera, M.; Matarranz J. L.; Martínez, M.; Salas, R.; Ramos, L. (2007). "Natural ionizing radiation exposure of the Spanish population". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 124, pàg. 353-359).

Garcia-Vindas, J. R.; Monnin, M. M. (2005). "Radon concentration measurements in the presence of water and its consequences for Earth sciences studies". *Radiation Measurements* (núm. 39, vol. 3, pàg. 319-322).

Geranios, A.; Nikolopoulos, D.; Louizi, A.; Karatzi, A. (2004). "Multiple radon survey in spa of Loutra Edipsou (Greece)". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 112, pàg. 251-258).

Giammanco, S.; Imme, G.; Mangano, G.; Morelli, D.; Neri, M. (2009). "Comparison between different methodologies for detecting radon in soil along an active fault: the case of the Pernicana fault system, Mt. Etna (Italy)". *Applied Radiation and Isotops* (núm. 67, pàg. 178-185).

Goula, X.; Olivera, C.; Escuer, J.; Fleta, J.; Grellet, B.; Bousquet, J. C. (1990). "Neotectonics and seismicity in the area of the seismic crisis of 1427-1428 in Catalonia". A: *Proceedings in the XII General Assembly of the European Seismological Comission*. Congrés. Barcelona: European Seismological Comission.

Grossi, C.; Vargas, A.; Camacho, A.; López-Coto, I.; Bolívar, J. P.; Xia, Yu; Conen, F. (2011). "Inter-comparison of different direct and indirect methods to determine radon flux from soil". *Radiation Measurements* (núm. 46, pàg. 112-118)

Grossi, C.; Arnold, D.; Adame, J. A.; López-Coto, I.; Bolívar, J. P.; de la Morena, B. A.; Vargas, A. (2012). "Atmospheric ^{222}Rn concentration and source term at El Arenosillo 100 m meteorological tower in southwest Spain". *Radiation Measurements* (núm. 47, pàg. 149-162).

Guérin, G.; Benhamou, G.; Mallarach, J. M. (1986). "Un exemple de fusió parcial en medi continental. El vulcanisme quaternari de Catalunya". *Vitrina* (núm. 1, pàg. 20-26).

Hernández, P.; Pérez, N.; Salazar, J.; Reimer, M.; Notsu, K.; Wakita, H. (2004). "Radon and helium in soil gases at Cañadas caldera, Tenerife, Canary Islands, Spain". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (núm. 131, pàg. 59-76).

Hintenlang, D. E.; Al-Ahmady, K. K. (1992). "Pressure differentials for radon entry coupled to periodic atmospheric pressure variations". *Indoor air* (núm. 2, pàg. 208-215).

Hobday, D. K.; Galloway, W. E. (1999). "Groundwater processes and sedimentary uranium deposits". *Hydrogeology Journal* (núm. 7, pàg. 127-138).

Horváth, A. D.; Bohus, L. O.; Urbani, F.; Marx, G.; Piróth, A.; Greaves, E. D. (2000). "Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 47, pàg. 127-133).

Howarth, Chris B. (2008). *Results of the 2005 Health Protection Agency intercomparison of passive radon detectors*. HPA-RPD-035. Chilton: Health Protection Agency.

Howarth, Chris B. (2009a). *Results of the 2006 Health Protection Agency intercomparison of passive radon detectors*. HPA-RPD-053. Chilton: Health Protection Agency.

Howarth, Chris B. (2009b). *Results of the 2007 Health Protection Agency intercomparison of passive radon detectors*. HPA-RPD-060. Chilton: Health Protection Agency.

ICC (1997). *Mapa geològic de Catalunya 1:25000, Amer 295-1-2*. Institut Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya.

ICC; IGC; PNZVG (2007). *Carta Vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), Institut Geològic de Catalunya (IGC), Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG). Generalitat de Catalunya.

ICRP (1991). "The 1990 Recomendations of the International Commission on Radiological Protection" (ICRP Publication 60). A: *Annals of the ICRP* (núm. 21, vol. 1-3).

ICRP (1993). "Protection against radon-222 at home and at work". (ICRP Publication 65). A: *Annals of the ICRP* (núm. 23, vol. 2).

ICRP (1994). "Human respiratory tract model for radiological protection" (ICRP Publication 66). A: *Annals of the ICRP* (núm. 24, vol. 1-3).

ICRP (2007). "The 2007 Recomendations of the International Commission on Radiological Protection" (ICRP Publication 103). A: *Annals of the ICRP* (núm. 37, vol. 2-4).

ICRP (2010). "Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon" (ICRP Publication 115). A: *Annals of the ICRP* (núm. 40, vol. 1).

ICRP (2011). "Radiological Protection against Radon Exposure". A: *Annals of the ICRP* (Draft Report ref 4829-9671-6554).

IGC; ICC (2002). *Mapa geològic 1:25000 Santa Pau*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut Cartogràfic de Catalunya.

Ilić, R.; Rusov, V. D.; Pavlovich V. M.; Vaschenko V. M.; Hanžic L.; Bondarchuk, Y. A. (2005). "Radon in Antarctica". *Radiation Measurements* (núm. 40, pàg. 415-422).

Immè, G.; La Delfa, S.; Lo Nigro, S.; Morelli, D.; Patanè, G. (2006). "Soil radon monitoring in the NE flank of Mt. Etna (Sicily)". *Applied Radiation and Isotops* (núm. 64, pàg. 624-629).

INE (2011). Institut Nacional d'Estadística. Padró municipal a data d'01-01-2011. (Consulta: 16-01-2012)
<http://www.ine.es>

Ioannides, K.; Papachristodoulou, C.; Stamoulis, K.; Karamanis, D.; Pavlides, S.; Chatzipetros, A.; Karakala, E. (2003). "Soil gas radon: a tool for exploring active faults zones". *Applied Radiation and Isotops* (núm. 59, pàg. 205-213).

Jelle, Bjørn Petter (2012). "Development of a model for radon concentration in indoor air". *Science of the Total Environment* (núm. 416, pàg. 343-350).

Jönsson, G. (2002). *Contingut de radi de les mostres de sòl d'Olot*. Comunicació personal.

Kávási, N.; Kovács, T.; Németh, C.; Szabó, T.; Gorjánácz, Z.; Várhegyi, A.; Hakl, J.; Somalí, J. (2006). "Difficulties in radon measurements at workplaces". *Radiation Measurements* (núm. 41, pàg. 229-234).

Kotrappa, P. (2007). *E-Perm(R) System Manual 2007*. Maryland, EUA: Rad Elec Inc.

Lario, J.; Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J. C.; Cuevza, S.; Soler, V. (2005). "Radon continuous monitoring in Altamira Cave (northern Spain) to assess user's annual effective dose". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 80, pàg. 161-174).

Li, X.; Zheng, B.; Wang, Y.; Wang, X. (2006). "A study of daily and seasonal variations of radon concentrations in underground buildings". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 87, pàg. 101-106).

Mamont-Cieśla, K.; Stawarz, O.; Karpińska, M.; Kapała, J.; Kozak, K.; Grządziel, D.; Chałupnik, S.; Chmielewska, I.; Olszewski, J.; Przylibski, T. A.; Żebrowski, A. (2010). "Intercomparison of radon CR-39 detector systems conducted in CLOR's calibration chamber". *Nukleonika* (núm. 55, pàg. 589-593).

Mallarach Carrera, Josep M^a. (1998). *El vulcanisme Prehistòric de Catalunya*. (322 pàgines) Olot: Edita Diputació de Girona.

Martín Matarranz, José Luis (2004). *Concentración de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural*. Colección Informes Técnicos 13.2004. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.

Maura, Jordi (2010). "La presencia de gas radón en Peñíscola, en el punto de mira". A: *las provincias.es* (26.06.10). (Consulta: 16-05-2010).
<<http://www.lasprovincias.es/v/20100626/castellon/presencia-radon-peniscola-punto-20100626.html>>

Miles, J.; Ibrahim, F.; Birch, K. (2009). "Moisture-resistant passive radon detectors". *Journal of Radiological Protection* (núm. 29, pàg. 269-271).

Monnin, M. M.; Seidel, J. L. (1992). "Radon in soil-air and in groundwater related to major geophysical events: A survey". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* (núm. 314, vol. 2, pàg. 316-330).

Monnin, M. M.; Seidel, J. L. (1998). "An automatic radon probe for earth science studies". *Journal of Applied Geophysics* (núm. 39, pàg. 209-220).

Möre H.; Hubbard M. (1997). "²²²Rn absorption in plastic holders for alpha track detectors: a source of error". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 74, pàg. 85-91).

Moreno Baltà, Victòria (2006). *Nivells de radó en recintes tancats de la zona volcànica de la Garrotxa i la falla d'Amer*. Treball de recerca de Tercer Cicle presentat en el Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Moreno V.; Baixeras C.; Font LI.; Bach J. (2008). "Indoor radon levels and their dynamics in relation with the geological characteristics of La Garrotxa, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 43, pàg. 1532-1540).

Moreno Baltà, Victòria (2009). *La radiació gamma a la zona volcànica de la Garrotxa*. Treball de recerca "Beca Oriol de Bolòs d'Investigació en Ciències Naturals 2008" presentat a l'Ajuntament d'Olot.

Moreno, V.; Bach, J.; Baixeras, C.; Font, LI. (2009a). "Characterization of blowholes as radon and thoron sources in the volcanic region of La Garrotxa, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 44, pàg. 929-933).

Moreno, V.; Cherta, A.; Rodellas, V.; García-Solsona, E.; García-Orellana, J.; Baixeras, C.; (2009b). "Resultados preliminares de los niveles de radón en la marjal de Peñíscola". *Radioprotección* (núm. 60, vol. XVII).

Moreno, V.; Baixeras, C.; Amgarou, K.; Font, Ll.; Grossi, C.; Vargas, A. (2011). "Estudio de la instrumentación de medida de radón en condiciones ambientales extremas". A: *II Congreso Conjunto SEFM-SEPR*. Congrés. Sevilla.

Moreno, V.; Bach, J.; Baixeras, C.; Font, Ll. (2012a). "Natural radioactivity in groundwater and soils of the volcanic region of La Garrotxa, Spain". *Radiation Measurements (enviat)*.

Moreno, V.; Baixeras, C.; Font, Ll. (2012b). "Experimental study on the effect of high humidity environments on the response of long-term exposed nuclear track detectors". *Radiation Measurements (enviat)*.

Moreno, V.; Baixeras, C.; Font, Ll. (2012c). "Long-term radon measurements in Antarctica with Makrofol nuclear track detectors". A: *25th International Conference on Nuclear Tracks in Solids*. Congrés. Puebla, Mèxic: Univerdidad Nacional Autònoma de México.

Morin, J. P.; Seidel, J. L.; Monnin, M. M. (1993). "An automatic electronic counter for short term radon measurements in soil and/or water". *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* (núm. 22, pàg. 413-414).

Mulligan, A. E.; Charette, M. A. (2006). "Intercomparison of submarine groundwater discharge estimates from a sandy unconfined aquifer". *Journal of Hydrology* (núm. 327, vol. 3-4, pàg. 411-425).

Nash, J. Thomas (2010). *Volcanogenic uranium deposits—Geology, geochemical processes, and criteria for resource assessment*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1001 (99 pàgines). Reston, Virginia: U.S.G.S.

Navas A.; Soto, J.; López-Martínez, J. (2005). "Radionuclides in soils of Byers Peninsula, South Shetland Islands, Western Antarctica". *Applied Radiation and Isotopes* (núm. 62, pàg. 809-816).

Nazaroff, W. W.; Nero, A. V. (1988). *Radon and its decay products in indoor air* (518 pàgines). New York: John Wiley and sons. ISBN 0-471-62810-7

Nazaroff, William W. (1992). "Radon transport from soil to air". *Reviews of Geophysics* (núm. 30, vol. 2, pàg. 137-160).

Ngachin, M.; Garavaglia, M.; Giovani, C.; Kwato Njock, M. G.; Nourreddine, A. (2008). "Radioactivity level and soil radon measurement of a volcanic area in Cameroon". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 99, pàg. 1056-1060).

Nielson, K. K.; Rogers, V. C.; Holt, R. B. (1994). "The RAETRAD model of radon generation and transport from soils into slab-on-grade houses". *Health Physics* (núm. 67, pàg. 363-377).

Nikolopoulos, D.; Vogiannis, E. (2007). "Modelling radon progeny concentration variations in thermal spas". *Science of the Total Environment* (núm. 373, pàg. 82-93).

- Nikolopoulos, D.; Vogiannis, E.; Petraki, E.; Zisos, A.; Louizi, A. (2010). "Investigation of the exposure to radon and progeny in the thermal spas of Loutraki (Attica-Greece): Results from measurements and modelling". *Science of the Total Environment* (núm. 408, pàg. 495-504).
- Olivera, C.; Redondo, E.; Lambert, J.; Riera, A.; Roca, A. (2006). *Els terratrèmols dels segles XIV i XV a Catalunya* (407 pàgines). Barceloan: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Othman, I.; Yassine, T. (1996). "Natural radioactivity of drinking water in the southern and middle parts of Syria". *Environmental International* (núm. 22, pàg. S355-S359).
- Olaya, M.: Quindós, L. (2007). *Informe final del proyecto de investigación "Estudio de la viabilidad y efectividad de las acciones de remedio ante la presencia de gas radón en edificios existentes" para el Consejo de Seguridad Nuclear* (87 pàgines). Instituto Eduardo Torroja/Universidad de Cantabria.
- Perrier, F.; Richon, P.; Gautam, U.; Tiwari, D. R.; Shrestha, P.; Sapkota, S. N. (2007). "Seasonal variations of natural ventilation and radon-222 exhalation in a slightly rising dead-end tunnel". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 97, pàg. 220-235).
- Pinza-Molina, C.; Alcaide, J. M.; Rodriguez-Bethencourt, R.; Hernandez-Armas, J. (1999). "Radon exposures in caves of Tenerife (Canary Islands)". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 82, pàg. 219-224).
- Pizzino, L.; Galli, G.; Mancini, C.; Quattrocchi, F.; Scarlato, P. (2002). "Natural Gas Hazard (CO_2 , ^{222}Rn) within a quiescent volcanic region with tectonics: the case of the Ciampino-Marino area. Alban Hills Volcano, Italy". *Natural Hazards* (núm. 27, pàg. 257-287).
- Quindos, L. S.; Fernandez, P. L.; Soto, J. (1991). "National survey on indoor radón in Spain". *Environment International* (núm. 17, pàg. 449-453).
- Quindós Poncela, L.; Fernández Navarro, P.; Sainz Fernández, C.; Gómez Arozamena, J.; Bordonoba Perez, M. (2004). "Radon exposure in uranium mining industry vs. Exposure in tourist caves". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 111, pàg. 41-44).
- Real Decreto 783/2001 (2001). "Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes". *Boletín Oficial del Estado* (núm. 178, pàg. 27284-27303).
- Real Decreto 1439/2010 (2010). "Modificación del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes". *Boletín Oficial del Estado* (núm. 279, pàg. 96395-96398).
- Richmond, Barry (2004). *An Introduction to Systems Thinking, STELLA*. isee Systems, inc., ISBN 0-9704921-1-1.
- Richon, P.; Perrier, F.; Sabroux, J. C.; Trique, M.; Ferry, C.; Voisin, V.; Pili, E. (2005). "Spatial and time variations of radon-222 concentration in the atmosphere of a dead-end horizontal tunnel". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 78, pàg. 179-198).

Rodellas Vila, Valentí (2008). *Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La marjal de Peníscola*. Treball de final de carrera de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Ródenas, C.; Gómez, J.; Soto, J.; Maraver, F. (2008). "Natural radioactivity of spring water used as spas in Spain". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (núm. 277, pàg. 625-630).

Rosell, J. R.; Ortega, X.; Dies, X. (1991). "Natural and Artificial Radionuclides on the Northeast Coast of Spain". *Health Physics* (núm. 60, pàg. 709-712).

Röttger, A.; Honig, A.; Butterweck, G.; Schuler, Ch.; Schmidt, V.; Buchröder, H.; Rox, A.; Kendall, G. M.; Miles, J. C. H.; Burian, I.; Michielsen, N.; Maringer, F.J.; Vargas, A. (2005). "Intercomparison exercise of calibration facilities for radon gas activity concentration". A Diversos autors. *Radioactivity in the Environment. The Natural Radiation Environment VII* (7a ed.). Amsterdam: Elsevier.

Röttger, A.; Honig, A.; Schmidt, V.; Buchröder, H.; Rox, A.; Butterweck, G.; Schuler, Ch.; Maringer, F. J.; Jachs, P.; Edelmaier, R.; Michielsen, N.; Howarth, C. B.; Miles, J. C. H.; Vargas, A.; Ortega, X.; Burian, I.; Turtiainen, T.; Hagberg, N. (2006). "Radon activity concentration - a Euromet and BIPM supplementary comparison". *Applied Radiation and Isotopes* (núm. 64: pàg. 1102-1107).

Rusov, V. D.; Maksymchuk, V. Yu.; Ilić, R.; Pavlovych, V. N.; Bakhmutov, V. G.; Saranuk, D. N.; Vaschenko, V. M.; Skvarč, J.; Hanžič, L.; Kosenko, S. I. (2006). "The peculiarities of cross-correlation between two secondary precursors – radon and magnetic field variations, induced by tectonic activity". Cornell University Library.

<<http://arxiv.org/abs/physics/0605244>>

Saphymo GmbH (1998). *User Manual Portable Radon Monitor AlphaGUARD*. Alemania: Saphymo GmbH.

Saphymo GmbH; Geophysik GGD (2001). *Soil Gas Measurements, Short instructions for the use of the Soil Gas Probe in combination with the radon monitor AlphaGUARD*. Alemania: Saphymo GmbH.

Saula, E.; Picart, J.; Mató, E.; Llenas, M.; Lozanitos, M.; Berastegui, X.; Agustí, J. (1996). "Evolución geodinámica de la fosa del Empordá y las Sierras transversales". *Acta Geológica Hispánica* (núm. 29, vol. 2-4, pàg. 55-75).

Segovia, N.; Armienta, M. A.; Valdes, C.; Mena, M.; Seidel, J. L.; Monnin, M.; Peña, P.; Lopez, M. B. E.; Reyes, A. V. (2003). "Volcanic monitoring for radon and chemical species in the soil and in spring water samples". *Radiation Measurements* (núm. 36, pàg. 379-383).

Segovia, N.; Gaso, M. I.; Armienta, M. A. (2007). "Environmental radon studies in Mexico". *Environmental Geochemistry and Health* (núm. 29, pàg. 143-153).

Seminsky K. Zh.; Bobrov, A. A. (2009) "Radon activity of faults (western Baikal and southern Angara areas)". *Russian Geology and Geophysics* (núm. 5, pàg. 682-692).

- Soavi, R. (1994). *Measurement of radium and radon in water and soil with the Silena PRASSI Monitor*. SILENA Application Note.
- Song, G.; Zhang, B.; Wang, X.; Gong, J.; Chan, D.; Bennett, J.; Lee, S. C. (2005). "Indoor radon levels in selected hot spring hotels in Guangdong, China". *Science of the Total Environment* (núm. 339, pàg. 63-70).
- Soto, J.; Fernández, P. L.; Quindós, L. S.; Gómez-Arozamena, J. (1995). "Radioactivity in Spanish spas". *The Science of the Total Environment* (núm. 162, pàg. 187-192).
- Soto J.; Gómez J. (1999). "Occupational doses from radon in Spanish spas". *Health Physics* (núm. 76, pàg. 398-401).
- Suárez, E.; Fernández, J. A.; Baeza, A.; Moro, M. A.; García, D.; Pozo, J. M.; Lanaja, J. M. (2000). *Proyecto MARNA. Mapa de radiación gamma natural*. INT-04.02. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.
- Szegváry, T.; Conen, F.; Ciais, P. (2009). "European 222Rn inventory for applied atmospheric studies". *Atmospheric Environment* (núm. 43, pàg. 1536-1539).
- Szerbin, P. (1996). "Natural radioactivity of certain spas and caves in Hungry". *Environment International* (núm. 22, pàg. S389-S398).
- Taboada, T.; Martínez Cortizas, A.; García, C.; García-Rodeja, E. (2006). "Uranium and thorium in ewathering and pedogenetic profiles developed on granitic rocks from NW Spain". *Science of the Total Environment* (núm. 356, pàg. 192-206).
- Tommasino, L.; Tommasino, M. C.; Viola, P. (2009). "Radon-film-badges by solid radiators to complement track detector-based radon monitors". *Radiation Measurements* (núm. 44, pàg. 719-723).
- Tuccimei, P.; Soligo, M. (2008). "Correcting for CO₂ interference in soil radon flux measurements". *Radiation Measurements* (núm. 43, pàg. 102-105).
- UNSCEAR (2000). *UNSCEAR 2000 Report: Sources and effects of ionizing radiation, Volume I: Sources*. New York: United Nations Publications.
- UNSCEAR (2008). *UNSCEAR 2006 Report: Effects of ionizing radiation, Volume I*. New York: United Nations Publications.
- UNSCEAR (2010). *UNSCEAR 2008 Report: Sources and effects of ionizing radiation, Volume I*. New York: United Nations Publications.
- Urban, M. (1986). "Pasive one-element track etch dosimeter for simultaneous measurements of Radon, Thoron and decay products in air". *Nuclear Tracks* (núm. 12, pàg. 685-688).
- Vargas, A.; Ortega, X.; Martín, J. L. (2004a). *Calidad metrológica y dosimetría del radón. Primera campanya nacional de intercomparación*. Colección Documentos I+D 12.2004. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.

Vargas, A.; Ortega, X.; Martín Matarranz, J. L. (2004b). "Traceability of radon-222 activity concentration in the radon chamber at the technical university of Catalonia (Spain)". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A* (núm. 526, pàg. 501- 509).

Vargas, A.; Ortega, X. (2006). "Influence of environmental changes on continuous radon monitors. Results of a Spanish intercomparison exercise". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 121, vol. 3, pàg. 303-309).

Vargas, A.; Ortega, X. (2007). "Influence of environmental changes on integrating radon detectors: results of an intercomparison exercise". *Radiation Protection Dosimetry* (núm. 123, vol. 4, pàg. 529-536).

Viñas, R.; Eff-Darwich, A.; Soler, V.; Martín-Luis, M. C.; Quesada, M. L.; de la Nuez, J. (2007). "Processing of radon time series in underground environments: implications for volcanic surveillance in the island of Tenerife, Canary Islands, Spain". *Radiation Measurements* (núm. 42, pàg. 101-115).

Vogiannis, E.; Nikolopoulos, D.; Louizi, A.; Halvadakis, C. P. (2004). "Radon variations during treatment in thermal spas of Lesvos Island (Greece)". *Journal of Environmental Radioactivity* (núm. 75, pàg. 159-170).

Walton, A.W.; Galloway, W.E.; Henry, C.D. (1981). "Release of Uranium from Volcanic Glass in Sedimentary Sequences: An Analysis of Two Systems". *Economic Geology* (núm.76, pàg. 69-88).

Wang, F.; Ward, I. C. (2000). "The development of a radon entry model for a house with a cellar". *Building and Environment* (núm. 35, pàg. 615-631).

Ward, W. J. III; Fleischer, R. L.; Mogro-Campero, A. (1977). "Barrier techniques for separate measurement of radon isotopes". *Review of Scientific Instruments* (núm. 48, pàg. 1440-1441).

Washington, J. W.; Rose, A. W. (1990). "Regional and temporal relations of radon in soil gas to soil temperature and moisture". *Geophysical Research Letters* (núm. 17, pàg. 829-832).

Weng, P. S.; Lin, C. L. (1995). "Radon concentrations in Spa water taken from hot and cold springs in Taiwan". *Applied Radiation and Isotops* (núm. 46, pàg. 293-295).

WHO (2009). *WHO Handbook on Indoor Radon. A public Health Perspective*. Geneva: WHO press.

Wilson, D. L.; Gammage, R. B.; Dudney, C. S.; Saultz, R. J. (1991). "Summertime elevation of ^{222}Rn levels in Huntsville, Alabama". *Health Physics* (núm. 60, pàg. 189-197).

Zarroca, M.; Linares, R.; Bach, J.; Roqué, C.; Moreno, V.; Font, Ll.; Baixeras, C. (2012). "Integrated geophysics and soil gas profiles as a tool to characterize active faults: the Amer fault example (Pyrenees, NE Spain)". *Environmental Earth Science*. DOI 10.1007/s12665-012-1537-y.