

NIVELLS DE RADÓ EN EXTERIOR I RECINTES TANCATS A LA MARJAL  
CÀRSTICA DE PENÍSCOLA

Anna Cherta Val

Dirigit per: Dra. Carme Baixeras

Dr. Jordi Garcia Orellana

### Resum

---

S'ha portat a terme un mostreig de diferents punts de la Marjal de Peníscola i 7 instal·lacions properes amb la finalitat de determinar les concentracions de  $^{222}\text{Rn}$  en aire exterior i interior. Les anàlisis en els punts exteriors obtenen unes concentracions de  $^{222}\text{Rn}$  elevades, superiors a  $50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  en alguns punts. El fet que el sòl de la marjal tingui altes concentracions de  $^{226}\text{Ra}$  i elevades concentracions de  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$  en l'aigua salobre poden justificar aquests valors. L'alta activitat de l'aigua, les característiques de l'edifici i mala gestió del sistema de clavegueram de Peníscola són els responsables de les elevades concentracions de  $^{222}\text{Rn}$  en l'aire interior de la depuradora, amb concentracions màximes de més de  $70000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Un sistema de ventilació adequat com un extractor de PVC evitaria l'acumulació del  $^{222}\text{Rn}$  a l'interior de la instal·lació.

Paraules clau: Marjal; radionúclids; radó.

### Resumen

---

Se ha llevado a cabo un muestreo de diferentes puntos de la Marjal de Peñíscola y 7 instalaciones próximas con la finalidad de determinar las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en el aire exterior y en el interior. Los análisis en los puntos exteriores obtienen concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  elevadas, superiores a  $50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  en algunos puntos. El hecho que el suelo de la marjal tenga concentraciones de  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$  en agua salobre puede justificar estos valores. La alta actividad del agua, las características del edificio y la mala gestión del sistema de alcantarillado de Peñíscola son los responsables de las elevadas concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en aire interior de la depuradora, con concentraciones máximas de más de  $70000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Un sistema de ventilación adecuado como un extractor de PVC evitaría las acumulaciones de dicho gas al interior de la instalación.

Palabras clave: Marjal; radionúcleos; radón.

### Abstract

---

It has been done a sampling in different positions of the Marsh of Peñíscola and 7 nearby installations with the purpose to establish the concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  in the air outside and inside. The analysis in the exterior positions show high  $^{222}\text{Rn}$  concentrations, upper than  $50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  in some points. The fact that the soil of the marsh has high  $^{226}\text{Ra}$  concentrations and also high concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$  in salt water can justify these values. The high water activity, the edification characteristics and the bad management of sewer system of Peníscola are the reason of high  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the inside air of the filter system, with maximum concentrations of more of  $70000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . A properly system of ventilation with a PVC extractor should avoid the  $^{222}\text{Rn}$  accumulation inside the installation.

Key words: Marsh; radionuclides; radon

### Introducció

El gas radó és un gas noble que apareix a la taula periòdica com l'element del símbol químic Rn i nombre atòmic 86. A temperatura ambient es caracteritza per ser incolor, inodor i insípid. Té una solubilitat en aigua elevada que augmenta a mesura que disminueix la temperatura. Es coneixen 17 isòtops diferents dels radó però la majoria d'ells no es troben a la natura. Els tres isòtops naturals són l'actinó ( $^{219}\text{Rn}$ ), el toró ( $^{220}\text{Rn}$ ) i el radó ( $^{222}\text{Rn}$ ), que és el que pot arribar a concentracions més elevades en aire ja que té el període de semidesintegració més llarg ( $T_{1/2} = 3,8$  dies).

Quan el radó es desintegra, emet una partícula  $\alpha$  i dona lloc a diferents elements. Aquests, a diferència del radó, són metalls pesants, de càrrega positiva i químicament molt actius. Si el radó és inhalat i es desintegra, els fills poden produir un dany biològic important en deixar tota l'energia de les seves desintegracions alfa al llarg del sistema respiratori (ICRP, 1987).

El valor mig anual de la dosi eficaç equivalent deguda a les fonts naturals de radiació segons el Comitè Científic de les Nacions Unides (UNSCEAR) és de 2,4 mSv, dels quals un 49% són deguts al radó, de manera que té una forta contribució a l'augment de dosi inhalada per la població. A diferència de les altres fonts de radiació natural, el radó és el que presenta una variabilitat més gran. La presència de urani en tots els materials terrestres produeix en la majoria de sòls concentracions de radó en aire de l'ordre de  $\text{kBq/m}^3$  (Hubbard i Hedberg, 1996, Baixeras *et al.*, 1996). Aquest, pot sortir a l'atmosfera exterior o a l'interior de recintes tancats per exhalació i es transporta per l'aire de l'espai intersticial del material on s'ha format mitjançant la difusió i l'advecció. Si el radó penetra en un recinte tancat el nivell de la seva concentració augmenta fins a valors que poden arribar a suposar un risc radiològic. Les fluctuacions de la concentració de radó en recintes tancats és conseqüència dels gradients de pressió formats entre les diferents connexions del sòl amb l'interior de l'edifici. Aquesta petita diferència de pressió és la responsable de l'entrada addicional de radó per advecció (Figura 1).



- A: Esquerdres en parets i murs per sota del nivell del sòl.
- B: Espais al voltant de les canalitzacions.
- C: Fissures a la placa. Porositat dels materials.
- D: Juntures de construcció.
- E: Materials de construcció.
- F: Aigua corrent.
- G: Gas.
- H: Aportacions de l'exterior.
- I: Desaigües.

**Figura 1.** Esquema de les possibles connexions del radó procedent del sòl amb l'habitatge.

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola

La major o menor dificultat que tindrà el radó per exhalar a l'interior dels edificis ve determinada per la permeabilitat dels sòls, els materials de construcció, pel radó present en l'aigua que s'utilitza a la vivenda i per la combustió de gas natural extret relativament prop de l'edifici on es consumeix (Font et al, 2002). La concentració de radó a l'interior de recintes tancats, també, pot experimentar variacions estacionals i diürnes importants degut a les condicions meteorològiques.

La Comissió de les Comunitats Europees (CEC) recomana com a nivells d'acció una concentració de radó de  $200 \text{ Bq m}^{-3}$  pels habitatges de nova construcció i  $400 \text{ Bq m}^{-3}$  pels habitatges existents, considerant que cal prendre accions de remei simples en cas de que excedeixi aquest valor. Pel que respecta als llocs de treball el nivell d'acció recomanat haurà d'estar entre els 400 i els  $1000 \text{ Bq m}^{-3}$  (ICRP, 1994; Martín Matarranz, 2008).

Pel que fa a nivells de radó a l'estat Espanyol, la mitjana nacional es situa als  $41,1 \text{ Bq m}^{-3}$  amb una desviació de  $3 \text{ Bq m}^{-3}$  i un rang de valors entre 10 i  $15400 \text{ Bq m}^{-3}$  (Quindós et al, 1991). A la Comunitat Valenciana la concentració de radó mitjana és de  $34 \pm 3 \text{ Bq m}^{-3}$ , amb un rang de 23,3 i  $67 \text{ Bq m}^{-3}$ .

### Àrea d'estudi

---

#### Zones humides

Una zona humida és una extensió de marismes, pantans, turberes o superfícies cobertes per aigua, siguin de règim artificial o natural, permanents o temporals, estancades o corrents, dolces, salades o salobres, incloses les extensions d'aigua marina amb una profunditat en marea baixa que no excedeixi els sis metres (Convenció Ramsar, Article 1.1.). Una marjal es defineix com un zona humida litoral amb una confluència d'aigües de diferent procedència, el funcionament de la qual ve determinat pels fluxos hídrics que hi intervenen.

La importància de les zones humides rau en el fet que són els ecosistemes més productius del planeta, ja que sustenten a una gran diversitat d'espècies animals i vegetals.

Existeix una pèrdua i degradació a nivell mundial de les zones humides, especialment en els països mediterranis ([www.medwet.org](http://www.medwet.org)). La principal causa és la forta pressió urbanística a què estan sotmesos els aiguamolls costaners, ja que les planes litorals on s'assenten alberguen la major part de la població de la regió, però també està provocat per la contaminació dels aqüífers i aiguamolls, a més dels descensos locals o generals en les piezometries dels aqüífers associats als aiguamolls producte de les captacions hídriques, que faciliten la intrusió marina i la salinització dels aqüífers, marjals i albuferes.

#### La Marjal de Peníscola

La Marjal de Peníscola forma part de la comarca d'El Baix Maestrat, situada a la part septentrional del litoral mediterrani de la Comunitat Valenciana. És un aiguamoll litoral amb una extensió d'unes 105 ha, on s'inclueix íntegrament la zona humida i la franja de protecció medioambiental que formen els cultius de la zona oest. Es diferencien tres canals principals (Sèquia Templera, Sèquia del Rei i Sèquia de la Sangonera) que conflueixen abans de desembocar al mar. Presenta una total

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola

dependència de les aigües subterrànies, i es du a terme de forma difusa i a través d'ullals (Rodellas, 2008).

Pel que fa a la distribució dels seus radionúclids en el sòl, destaca el cas del  $^{226}\text{Ra}$ , que presenta unes activitats extremadament altes i una gran variabilitat espacial. Les elevades activitats específiques dels sòls poden atribuir-se a dos factors combinats: la presència d'una zona minera rica amb concentracions elevades d'urani i la concentració del  $^{226}\text{Ra}$  en la *terra rossa* en el seu procés de formació (Rodellas, 2008). Les concentracions de  $^{238}\text{U}$  observades als sòls de la marjal són massa reduïdes per generar les activitats de  $^{226}\text{Ra}$  reportades. La hipòtesi més viable es basa en un transport selectiu del  $^{226}\text{Ra}$  en detriment del  $^{238}\text{U}$ , derivat de les diferències en l'afinitat d'aquests radionúclids per la caolinita (Rodellas, 2008). Les diferències entre la salinitat de l'aigua subterrània que entra a la marjal i l'aigua que desemboca al mar procedent d'aquesta, evidencien una forta salinització de l'aigua de la marjal. Les activitats de tots els isòtops de radi a l'aigua de la marjal són molt elevades, especialment les activitats de  $^{226}\text{Ra}$ , així com també ho són les activitats de  $^{222}\text{Rn}$ .

### Mostreig i mètodes d'anàlisi

---

Per tal d'aconseguir una bona distribució dels punts de mostreig durant la campanya, es va dissenyar una distribució de dosímetres arreu de la marjal a partir dels valors de radi obtinguts en l'estudi previ "*Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La marjal de Peníscola*" (Rodellas, 2008), del que es van realitzar dos recollides. També es va fer una tria dels recintes tancats més significatius que es troben al voltant de la marjal on es va creure interessant mesurar de manera tant integrada com puntual, les concentracions de  $^{222}\text{Rn}$  en aire, on es va valorar que estiguessin distribuïts al voltant de la marjal i que tinguessin algun interès afegit, com pot ser un local públic, o un lloc de treball que aculli treballadors i/o usuaris. En total es van seleccionar 7 recintes tancats (Palau de Congressos, escola Jaime Sainz, càmping Edén, depuradora, seu central de FACSA, font de Dins, Hotel Marina i una caseta d'eines d'un particular), dels quals 4 van ser escollits per realitzar mesures en continu (Palau de Congressos, escola Jaime Sainz, càmping Edén i depuradora). Com a mesura complementària, es va estudiar l'exhalació de radó procedent de tres sòls de l'interior de la marjal, dos en una zona amb una alta activitat de  $^{226}\text{Ra}$  i un en una zona amb poca activitat d'aquest radionúclid.

Per a les mesures integrades s'utilitzà el detector passiu sòlid de traces nuclears (DSTN) Makrofol-DE1 (Fabricat per Bayer MaterialScience AG). Aquest detector es basa en el comptatge de partícules  $\alpha$  procedents del radó i toró, i dels seus descendents ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  i  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ). Quan les partícules arriben a la superfície sensible del detector produeixen la ruptura de les macromolècules del material plàstic d'aquesta superfície i originen una traça. El sistema de revelatge que utilitza el Grup de Física de les Radiacions (GFR) de la Universitat Autònoma de Barcelona per al detector de Makrofol consta d'un revelat electroquímic i d'un revelat químic. El sistema de lectura i anàlisi dels detectors de Makrofol utilitzat pel GFR consisteix en un sistema semiautomàtic de recompte de traces mitjançant una video càmera i un ordinador PC Pentium de 3000 MHz amb 64 Mbytes de Ram i 3,2 Gbytes de disc dur, amb programa Java processador d'imatges de domini públic ImageJ (desenvolupat al National Institute of Health NIH dels EEUU i disponible de forma gratuïta a <http://rsb.info.nih.gov/ij>). Aquest programa permet aïllar totalment les

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola

marques obtingudes en el revelat, amb un programa de càlcul es determina la densitat de traces, i finalment la concentració (en  $\text{Bq/m}^3$ ) de radó en aire.

Les mesures integrades es van portar a terme mitjançant el DURRIDGE RAD7 (Fabricat per DurrIDGE Company). És un detector actiu i continu que permet detectar només partícules  $\alpha$ . Aquest equip és està format per un detector de semiconductor, normalment de silici, que converteix la radiació  $\alpha$  en senyals elèctrics. En aquest detector l'aire es difon cap a l'interior a través d'un filtre que permet l'entrada del gas radó en el volum de detecció però que reté els seus descendents i partícules en suspensió. A través d'un port de sèrie RS232 i mitjançant un ordinador es poden descarregar les dades obtingudes pel detector.

Per últim, el detector utilitzat per realitzar les mesures en el sòl fou de tipus LR115 no pelable (Dosirad Co, França). Aquest és un detector passiu que permet detectar partícules  $\alpha$ . Després d'haver estat exposat durant un període d'una setmana, les làmines es van recuperar i revelar químicament. La densitat de les pistes s'obté amb un sistema semiautomàtic que disposa el laboratori del Grup de Radioactivitat Ambiental, que consisteix en un microscopi acoplat a una càmera CCD i un ordinador PC Pentium de 3000 MHz amb 64 Mbytes de Ram i 3,2 Gbytes de disc dur, amb programa Java processador d'imatges de domini públic ImageJ. Aquest programa permet aïllar totalment les marques obtingudes en el revelat. Amb un programa de càlcul es determina la concentració de radó en aire (en  $\text{Bq/m}^3$ )

### Resultats

---

#### Nivells de radó a l'exterior

La concentració de Rn en els punts exteriors obtinguda amb els detectors de Makrofol oscil·la entre el  $15 \pm 5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  i els  $162 \pm 19 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (Taula 1). La mitjana aritmètica de la concentració mitjana de radó dels 16 punts exteriors és de  $49 \pm 35 \text{ Bq m}^{-3}$ . Si no es té en compte el P28, que és una mesura que es troba clarament fora de la mitjana ("outlier"), la mitjana aritmètica és  $41 \pm 17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , molt més ajustada als valors. Les mesures en continu obtingudes amb el detector DurrIDGE RAD7 presenten un augment dels valors a partir de les 19 hores, amb mitjanes de  $22 \pm 20 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang  $[0- 54] \text{ Bq m}^{-3}$ ) i  $17 \pm 15 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang  $[0- 46] \text{ Bq m}^{-3}$ ).

Els valors de la segona recollida (maig de 2008) no es van tenir en compte degut a un revelat incorrecte de les dades, ja que es van trobar menys traces que en la primera recollida.

#### Nivells de Rn en edificis i instal·lacions

De les 15 mesures realitzades en els diferents edificis i instal·lacions, existeixen dos punts "outliner"; els punts que pertanyen a la depuradora. La mitjana aritmètica de les 13 mesures restants és  $49 \pm 21 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . els resultats de les mesures es mostren a la Taula 2.

A la Taula 3 s'observa les mitjanes obtingudes per a les mesures realitzades amb el detector de Makrofol i amb el RAD7 en els punts triats per fer ambdós mesures.

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola

**Taula 1:** Valors de la concentració de radó en els punts d'exterior estudiats.

| Codi detector | Concentració $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) |
|---------------|-------------------------------------------------------|
| P1            | $27 \pm 7$                                            |
| P6            | $63 \pm 11$                                           |
| P9            | $30 \pm 7$                                            |
| P11           | $37 \pm 8$                                            |
| P14           | $79 \pm 12$                                           |
| P19           | $57 \pm 10$                                           |
| P28           | $162 \pm 19$                                          |
| P34a          | $27 \pm 7$                                            |
| P35           | $39 \pm 9$                                            |
| CP5           | $33 \pm 8$                                            |
| HP            | $39 \pm 9$                                            |
| PI            | $34 \pm 8$                                            |
| PM            | $43 \pm 9$                                            |
| PN            | $15 \pm 5$                                            |
| PP            | $48 \pm 9$                                            |

**Taula 2.** Valors de la concentració de  $^{222}\text{Rn}$  en edificis i instal·lacions.

| Codi detector | Lloc           | Concentració $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) |
|---------------|----------------|-------------------------------------------------------|
| PC1           | Palau de       | $37 \pm 8$                                            |
| PC2           | Congressos     | $61 \pm 11$                                           |
| ES1           | Escola Jaime   | $56 \pm 11$                                           |
| ES2           | Sainz          | $52 \pm 11$                                           |
| CP1           | Càmping Edén   | $23 \pm 7$                                            |
| CP2           |                | $45 \pm 9$                                            |
| CP3           |                | $34 \pm 8$                                            |
| CP4           |                | $49 \pm 10$                                           |
| D1            | Depuradora     | $2729 \pm 400$                                        |
| D2            |                | $341 \pm 33$                                          |
| P36           | F.A.C.S.A.     | $30 \pm 8$                                            |
| FD            | Font de dins   | $103 \pm 14$                                          |
| HM            | Hotel Marina   | $37 \pm 8$                                            |
| PM1           | Mas particular | $65 \pm 11$                                           |

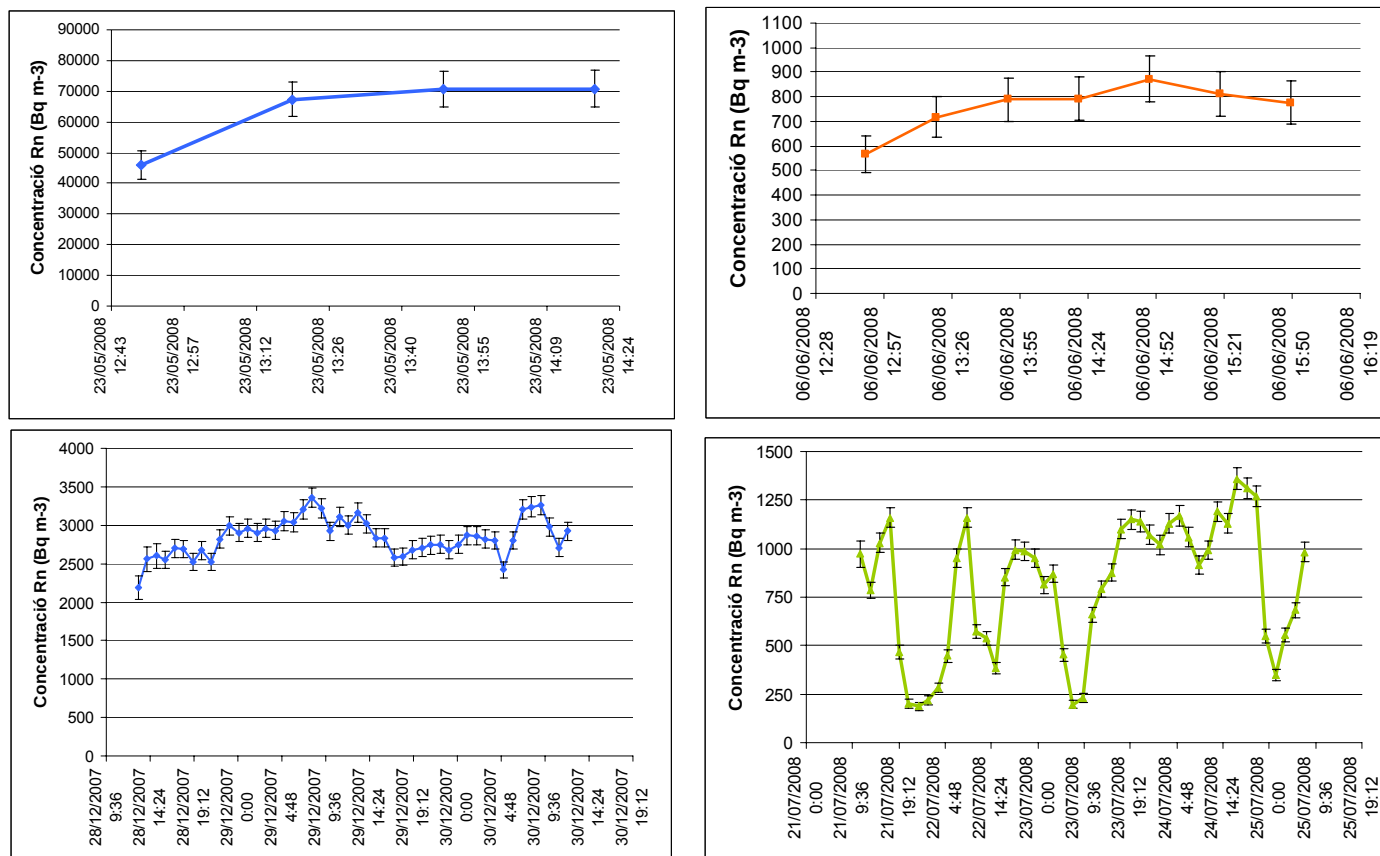
**Taula 3.** Nivells de Rn observats en els diferents edificis mostrejats amb els dos detectors.

|                      | Makrofol ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^3$ ) | RAD7 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^3$ ) |
|----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Palau de congressos. | $49 \pm 17$                             | $45 \pm 4$                          |
| Ceip Jaime Sainz.    | $54 \pm 3$                              | $19 \pm 7$                          |
| Càmping Edén.        | $38 \pm 12$                             | $14 \pm 4$                          |
| Depuradora           | $2729 \pm 400$                          | $17034 \pm 31138$                   |

Dels emplaçaments triats destaca la depuradora, amb una elevada concentració i molta variabilitat. Els estudis particulars realitzats amb el RAD7 apareixen en la Figura 2. Les gràfiques A i B corresponen a mesures curtes, mentre que les B i C corresponen a mesures llargues.

A més de l'interior de la depuradora, també s'han realitzat mesures en zones properes a aquesta. Al magatzem contigu el valor té una mitjana de  $48 \pm 81 \text{ Bq m}^{-3}$ ; als pisos superiors, una mitjana de  $35 \pm 7 \text{ Bq m}^{-3}$  i  $6 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3}$ ; i per últim al local de l'antiga policia municipal, amb un valor mitjà de  $363 \pm 144 \text{ Bq m}^{-3}$ .

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola



**Figura 2.** A) mesures realitzades el 23 de març, amb una concentració mitjana de  $63719 \pm 11928 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang [45989 – 70872]  $\text{Bq m}^{-3}$ ); B) mesures realitzades el 6 de juny de 2008, amb mitjana de  $761 \pm 97 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang [567 – 872]  $\text{Bq m}^{-3}$ ); C) mesures del 28 al 30 de Desembre de 2007, amb una mitjana de  $2845 \pm 243 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang [2190 – 130]  $\text{Bq m}^{-3}$ ); D) mesures realitzades del 21 al 25 de juliol de 2008, amb concentració mitjana de  $812 \pm 11 \text{ Bq m}^{-3}$  (rang [187 – 1360]  $\text{Bq m}^{-3}$ ).

### Discussió

#### Nivells de radó a l'exterior

En la quantificació de l'aire en la marjal s'observen valors relativament elevats. Tots els punts estudiats presenten valors superiors a la concentració mitjana mundial de radó en aire exterior ( $10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ; UNSCEAR, 2000). Els resultats tenen un valor més elevat que en altres estudis de radó en exteriors realitzats al món, Rio de Janeiro (Brazil), amb  $12 \pm 9 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  (Magalhaes et al., 2002) o Hong Kong, amb  $28 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  (Man et al., 1997).

El principal origen de la presència de  $^{222}\text{Rn}$  en aire es deu a les característiques geològiques de la Marjal de Peníscola, amb elevades concentracions de  $^{226}\text{Ra}$  en el sòl (Rodellas, 2008). Els valors més elevats de  $^{222}\text{Rn}$ , però, es registren en emplaçaments propers a canals o en salts d'aigua, fet que suggereix que l'elevada concentració de  $^{222}\text{Rn}$  no prové únicament de l'exhalació del sòl, sinó que també prové de l'aigua de la marjal.

Pel que fa a les mesures en continu, s'aprecia un augment de concentració de  $^{222}\text{Rn}$  a partir del vespre, provocat per la caiguda de pressió atmosfèrica, que provoca la sortida suplementària de radó del sòl, degut a un procés convectiu motivat per la diferència de pressions en la interfase sòl-aire (Quindós, 2002).

### Nivells de Rn en edificis i instal·lacions

El valor de la mitjana obtinguda pels edificis i instal·lacions no presenta grans diferències respecte la mitjana obtinguda en aire exterior ( $41 \pm 17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Aquest fet suggereix que el  $^{222}\text{Rn}$  no s'acumula a l'interior dels edificis i es bescanvia amb el de l'exterior.

La depuradora és el lloc que presenta una major concentració de radó de tots els edificis estudiats, arribant a sobrepassar el límit recomanat per a llocs de treball.

A Peníscola l'aigua residual té un únic sistema d'evacuació (excepte a les zones noves), sense separació d'aigües fecals d'aigües fluvials. El bombeig dels soterranis es produeix durant la construcció de nous edificis propers a la marjal durant les obres i va a parar a aquesta ret de clavegueram. Aquesta barreja d'aigua arriba a la depuradora on és tractada i bombejada al mar a través d'un emissari. Quan l'aigua arriba a la depuradora i es comença a tractar, el radó dissolt en l'aigua de bombeig exhala a l'aire del recinte i s'acumula fins a elevades concentracions. Aquest procés es veu afavorit ja que, durant tot el tractament, l'aigua està en agitació dins un magatzem molt poc ventilat. Com a mesura mitigadora per reduir la concentració del radó es proposa un bon sistema de ventilat que evacui l'aire de l'interior cap a l'exterior, com un sistema d'extracció de PVC. Es situa als punts de captació del gas a l'àrea d'influència directa (Olaya *et al*, 2007) com és l'entrada al desarenador.

### Conclusions

---

Les elevades concentracions de  $^{222}\text{Rn}$  a l'aire exterior de la marjal s'atribueix a l'alta concentració de  $^{226}\text{Ra}$  del sediments i  $^{222}\text{Rn}$  incorporat a l'aigua de la marjal. L'elevada concentració de  $^{222}\text{Rn}$  a la depuradora podria estar provocat per l'aigua que arriba de la marjal mitjançant el sistema de clavegueram. Una bona gestió del sistema d'aigües brutes i mesures correctores sencilles podrien mitigar el problema.

### Bibliografia

---

- o Amgarou, K., 2002. Long-term measurements of indoor radon and its progeny in the presence of thoron using nuclear track detectors: A novel approach. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- o Amorós R., Bolta J. M., Navarro E., Roldán C., 1995. Radon levels in the valencian Community (Spain). I. Results in the Province of Valencia (1990-1991). *Journal of Environment Radioactivity*, 27 (2), 125-131.
- o Baixeras, C., Enge, W., Freyer, K., Jönsson, G., Monnin, M., Schiocchetti, G. i col., 1996. Report on the first phase activity of an EU project concerning coordinated radon measurements in the five European countries. *Environment International*, Vol. 22, Suppl. 1, pp. 687-697.
- o Ballesteros, B. J., 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas. Conflictos en el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: Litoral mediterráneo. J. M. Fornés i M. R. Llamas (eds). Ediciones Mundi-Prensa., 25-36.

## Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola

- o Beck, A., Rapaglia, J., Cochran, J.K. i Bokuniewicz, H.J., 2007. Radium mass-balance in Jamaica Bay, NY: Evidence for a substantial flux of submarine groundwater. *Marine Chemistry*. 106, 419–441.
- o Catàleg de les Zones Humides de la Comunitat Valenciana, 2002. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana.
- o Commission of the European Communities (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. nº L 080 de 27/03/1990, 0026-0028.
- o Domenech, V., 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: Litoral mediterráneo. J.M. Fornés i M.R. Llamas (eds). Ediciones Mundi-Prensa. 1-24.
- o Durán, J., García de Domingo, A., López-Geta, J. i Soria, J., 2004 Caracterización geológica e hidrogeológica de los humedales españoles de importancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España.
- o Font Ll., Baixeras C., Moreno V., Bach J., 2008. Soil radon levels across the Amer Fault. *Radiation measurements* (2008), doi:10.1016/j.radmeas.2008.04.072.
- o Garcia-Solsona, E., Masqué, P., Garcia-Orellana, J., Rapaglia, J., Beck, A., Cochran, J., Bokuniewicz, H., Zaggia, L. i Collavini, F., 2008. Estimating submarine groundwater discharge around Isola La Cura, northern Venice Lagoon (Italy), by using the radium quartet. *Marine Chemistry* (2008), doi: 10.1016/j.marchem.2008.02.007.
- o Hubbard, L.M, Hagberg, N., 1996. Time variations of the soil gas radon concentration under and near a swedish house. *Environment International*, Vol. 22 Suppl., pp. 477-482.
- o Kappel, R. J. A., Keller, G., Nickels, R. M., Leiner, U., 1997. Monte Carlo computation of the calibration factor for  $^{222}\text{Rn}$  measurements with electrochemically etched polycarbonate nuclear track detectors. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 71, No. 4, pp. 261–268 (1997).
- o Llerena, J. J., 2006. Medición de gas radón  $^{222}\text{Rn}$  en el interior de edificios. Treball tutoritzat per a l'obtenció del Diploma d'Estudis Avançats. Universitat de Santiago de Compostela.
- o Magalhaes, M., H., Amaral, E., C., S., Sachett, I. i Rochedo, E., R., R., 2002. Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 67 (2003) 131–143.
- o Man, C., K., Yeung, H., S., 1997. Variations of Outdoor Radon Concentrations in Hong Kong. *Environmental Radioactivity*, vol. 40, No 2, pp 137-145 (98).
- o Martín Matarranz, J. L., 2004. concentración de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. Colección Informes Técnicos 13.2004. CSN.
- o Mejías, M., Garcia-Orellana, J., Plata, J.L., Marina, M., Garcia-Solsona, E., Ballesteros, B., Masqué, P., López, J., Fernández-Arrojo, C., 2007. Methodology of hydrogeological characterization of deep carbonate aquifers as potential reservoirs of groundwater. Case of study: the Jurassic aquifer of El Maestrazgo (Castellón, Spain). *Earth and Environmental Science* 54, 521-536.
- o Moore, W., 1996. Large groundwater inputs to coastal waters revealed by  $^{226}\text{Ra}$  enrichments. *Nature* 380, 612–614.

## **Nivells de radó en exterior i recintes tancats a la Marjal càrstica de Peníscola**

- o Moore, W., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and seawater. *Marine Chemistry* 65, 111-125.
- o Moreno, V., 2006. Nivells de radó en recintes tancats de la zona volcànica de la Garrotxa i la falla d'Amer. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- o Porstendörfer, J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *J Aerosol Sci.*, Tutorial/Review Paper, Vol. 25 nº 2, pp. 219-263, 1994.
- o Quindós, L. S., 2002. Radón. Un gas radiactivo natural en su casa. Colección documentos I+D. CSN.
- o Quindós, L. S., Soto J., Fernández P. L., 1991. Medida de la concentración de radón en el interior de viviendas españolas. *Revista Española de física*, 5 (1).
- o Quindós, L. S., Soto J., Fernández P. L., 1992. Geología y niveles de radón en viviendas españolas. *Revista Española de física*, 6 (1).
- o Rama i Moore, W., 1996. Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes. *Geochim Cosmochim Acta* 60, 4645-4652.
- o Ramsar Convention on Wetlands [online]. Disponible a < <http://www.ramsar.org>>.
- o Rodellas, V., 2008. Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La Marjal de Peníscola. Treball de final de carrera. Universitat Autònoma de Barcelona.
- o Spizzico, M., 2005. Radium and radon content in the carbonate-rock aquifer of the southern Italian region of Apulia. *Hydrogeology Journal* 13, 493–505.
- o Swarzenski, P., Porcelli, D., Andersson, P., Smoak, J., 2003. The Behavior of U- and Th-series Nuclides in the Estuarine Environment. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 52, 577- 606.
- o Tadolini, T., Spizzico, M., 1998. Relation between “terra rossa” from the Apulia aquifer of Italy and the radon content of groundwater: experimental results and their applicability to radon occurrence in the aquifer. *Hydrogeology* 6, 450-454.
- o United Nations Scientific Comité on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000. sources and effects of Ionizing Radiation, vol.I, Sources. United Nations Publications, New York.
- o Vargas A., Ortega, X., Martín, J. L., 2004. Calidad petrológica i dosimería del radón. Primera campaña nacional de intercomparación. Colección documentos I+D 12.2004. CSN.
- o Webster, I., Hancock, G. i Murray, A., 1995. Modeling the effect of salinity on radium desorption from sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 2469-2476.