

# UN CANVI A LES NOSTRES MANS

Contaminació radioactiva



- **Sinopsi:**

CATALÀ:

Aquest treball de recerca tracta sobre la contaminació radioactiva. L'objectiu del treball és proposar un sistema elèctric basat en tecnologies renovables per reduir els efectes d'aquest tipus de contaminació i analitzar els resultats per tal d'afirmar o negar la meua hipòtesis.

CASTELLÀ:

Este trabajo de investigación trata sobre la contaminación radiactiva. El objetivo del trabajo es proponer un sistema eléctrico basado en tecnologías renovables para reducir los efectos de este tipo de contaminación y analizar los resultados con el fin de afirmar o negar mi hipótesis.

ANGLÈS:

This research work is about the radioactive pollution. The aim of the work is to propose an electric system based on renewable technologies in order to reduce the effects of this type of pollution and to analyze the results so as to confirm or deny my hypothesis.

## **Agraïments**

En primer lloc, vull agrair a la meva tutora, per haver-me guiat durant tot aquest treball i pels seus consells que em van ser de gran ajuda. També agraeixo la col·laboració rebuda per part de Pepa Mosquera i Leticia Fontán, qui em van aportar moltes idees i nous coneixements. Finalment, vull donar les gràcies molt especialment a totes les persones que m'han donat suport al llarg de la realització d'aquest treball: la meva família i amics.

# Índex

0. Agraïments.....	2
1. Introducció.....	6
2. Què és la contaminació?.....	9
2.1. Tipus de contaminació.....	10
3. Què és la contaminació radioactiva?.....	11
3.1. Què és la radioactivitat.....	12
3.1.1. Com es mesura?.....	12
3.1.2. Tipus de radiacions.....	14
3.1.2.1. Radiacions ionitzants.....	14
3.1.2.2. Radiacions segons la seva naturalesa.....	16
3.2. La radiació en les persones.....	18
3.2.1. Som radioactius?.....	18
3.2.2. Factors que determinen el risc per a la salut.....	19
3.2.3. Efectes en l'organisme.....	20
3.2.4. Qui és més vulnerable a les radiacions?.....	21
3.3. Efectes de la radioactivitat sobre el medi ambient.....	21
4. Energia nuclear.....	22
4.1. Què és? .....	22
4.2. Com funciona? .....	22
4.3. Avantatges i inconvenients.....	25
5. Què és l'escala INES? .....	27
5.1. Descripció de l'escala INES.....	27
6. PRÀCTICA 1: Comparativa de dos llocs afectats per contaminació radioactiva....	29

6.1. Hiroshima.....	29
6.1.1. Àrees afectades.....	29
6.1.2. Efectes en les persones.....	29
6.2. Txernòbil.....	31
6.2.1. Àrees afectades.....	31
6.2.2. Efectes en les persones.....	31
6.3. Taula comparativa.....	34
6.4. Conclusions de la pràctica.....	35
7. Possibles solucions a la contaminació radioactiva.....	37
7.1. Energies renovables.....	37
7.2. Mesures preventives.....	37
7.3. Altres solucions.....	37
8. Energia nuclear versus energies renovables.....	38
9. PRÀCTICA 2: Substitució de l'energia nuclear per energies renovables.....	39
9.1. Canvis de paradigmes.....	39
9.2. Mix de generació.....	40
9.3. Anàlisi de la generació elèctrica a Espanya.....	41
9.4. Sistema 100% renovable.....	42
9.5. Canvis que implica un sistema 100% renovable.....	43
10. Conclusions.....	44
10.1. Limitacions del treball.....	45
11. Valoració personal.....	46
12. Bibliografia.....	47

## ANNEXOS

- Annex I: Entrevista a Leticia Fontán..... 51
- Annex II: Entrevista a Pepa Mosquera..... 54
- Annex III: Glossari..... 58
- Annex IV: Esquema sobre com arriba la radiació a les persones..... 61
- Annex V: Mapa i taula amb les àrees contaminades amb cesi-137..... 62
- Annex VI: Gràfic amb el percentatge d'energia elèctrica generada per les diferents tecnologies a Espanya (península) el mes d'octubre de 2017..... 63
- Annex VII: Gràfic sobre la potència total instal·lada a Espanya des de gener de 2012 fins a octubre de 2017..... 64
- Annex VIII: Taula sobre les centrals nuclears a Espanya..... 65

## 1. Introducció

Fer un treball de recerca implica hores i hores de dedicació. És evident, doncs, que amb aquest supòsit la tria d'un tema és de gran importància. Ha de ser un tema que realment t'agradi, del qual vulguis adquirir nous coneixements i et permeti obtenir un enriquiment a nivell propi. Personalment, no vaig tindre cap dificultat a l'hora d'escollir-lo, en quant vaig veure totes les propostes que ens oferien ho vaig tenir clar: *La contaminació*. D'entrada em va semblar molt interessant i com que no en sabia molt sobre el tema ho vaig veure com una possibilitat d'aprendre una cosa nova i d'entendre millor què és el que està passant avui dia al món.

Quan vaig començar a buscar informació sobre el tema em vaig adonar que era massa extens i que havia de centrar-me en un tipus de contaminació en concret. Aquesta tampoc va ser una decisió massa complicada, en el moment en el que vaig veure el nom de contaminació radioactiva milers de preguntes es van començar a formar al meu cap. Què era això? Per què passava? On passava?... Així doncs, no vaig dubtar, aquest seria definitivament el tema del meu Treball de Recerca.

A mesura que m'anava informant, l'estructura del treball anava agafant forma. Un dia, cercant informació, una qüestió em va vindre al cap. En aquell moment no la vaig tindre massa en compte, però a mesura que el meu treball avançava la pregunta anava adquirint més i més rellevància fins que, finalment, es va acabar convertint en la meua hipòtesis: **Per tal de reduir els efectes de la contaminació radioactiva, es pot idear un sistema 100% renovable capaç de substituir a la major font de contaminació radioactiva: les centrals nuclears?**

La principal motivació que em va fer triar aquesta hipòtesis és que el futur de la Terra és un tema que, amb més o menys intensitat, m'ha preocupat des de sempre. La desaparició d'espècies, el descongelament dels pols, l'aparició de noves malalties i la desertificació són només alguns exemples del que està passant al nostre planeta a causa de la contaminació. El més preocupant de tot és que nosaltres, els humans, som els principals productors de contaminació i no estem fent res per evitar-ho. Amb aquest

treball vull informar-me més sobre aquest tema i idear un sistema amigable amb el medi ambient capaç de substituir l'actual.

A més a més, en un futur, voldria formar part d'una ONG involucrada en aquest tema que ajudés a parar els efectes de la contaminació i buscar solucions. O, fins i tot, ser capaç de crear la meua pròpia ONG i ajudar a fer que aquest sigui un món millor.

Per poder idear un sistema capaç de reduir els efectes de la contaminació radioactiva em vaig plantejar els objectius següents:

- Investigar què és la contaminació radioactiva per tal d'observar millor quins són els seus efectes
- Realitzar una comparativa entre dos llocs afectats per aquests tipus de contaminació. Amb els resultats es podrà observar quan nociva pot arribar a ser pels éssers vius i el medi ambient.
- Analitzar els diferents tipus de fonts generadores d'energia elèctrica a Espanya. Aquesta anàlisi hauria de realitzar-se sobre els últims cinc anys per tal de obtenir un coneixement fiable sobre el percentatge de generació que pertany a tecnologies renovables.
- Valorar quin percentatge de potència total instal·lada d'energies renovables seria necessària per tal de cobrir el 100% de la demanda.
- Proposar un nou sistema el qual sigui capaç de generar tota l'energia elèctrica demandada només amb tecnologies renovables seguint uns determinants paradigmes.
- Extreure conclusions sobre els possibles resultats que podria tindre la posta en pràctica d'aquest sistema.

Les fonts consultades al llarg del treball han estat de diferents tipus: bibliogràfiques (llibres), hemerogràfiques (revistes i periòdics), audiovisuals (documentals) i webgràfiques. A més d'entrevistes a persones especialitzades en el tema.

El mètode emprat per realitzar el treball ha consistit en l'elaboració d'un esquema previ sobre la cerca d'informació, la recopilació i classificació d'aquesta i, per tal de confirmar la seva validesa, la contrastació de la informació trobada amb altres tipus de



fonts. Finalment, després d'haver seleccionat la informació més rellevant, he elaborat diversos esborranys fins que he obtingut el resultat desitjat.

L'estructura del treball comença amb la definició del concepte de contaminació, després es descriu breument els tipus de contaminació que existeixen fins que s'arriba a la contaminació radioactiva, la qual s'explica extensament: què és, quins són els seus efectes en les persones i en el medi ambient... Continua definint què és l'energia nuclear i, per tal de tindre una visió clara dels seus efectes es realitza una comparativa entre dos llocs afectats. Tot seguit s'esmenten algunes mesures preses i possibles solucions per reduir els seus efectes. El treball finalitza amb la ideació d'un sistema elèctric basat només en renovables.

## 2. Què és la contaminació?

La contaminació és la presència en l'ambient de qualsevol agent químic, físic o biològic nociu per a la salut o el benestar de la població, de la vida animal o vegetal.

Aquesta degradació del medi ambient per un contaminant extern pot provocar danys en la vida quotidiana de l'ésser humà i alterar les condicions de supervivència de la flora i la fauna.

Al voltant de 2 milions de persones podrien morir cada any per alguna causa atribuïble a la contaminació. Segons un estudi de l'Organització Mundial de la Salut, la major quantitat de morts es produeixen en els països en desenvolupament on es concentren altes densitats de partícules nocives per a la salut.

La població humana creix segons una progressió geomètrica i la demanda d'aliments i necessitats bàsiques per a la vida de l'home són cada vegada més grans. L'augment en el consum de diversos productes i deixalles, provocats per l'ésser humà, porta com a conseqüència la generació de substàncies tòxiques.

Aquest desenvolupament indiscriminat ha alterat la Terra.

- Regions senceres en zones tropicals han patit la desertificació.
- Espècies d'animals i vegetals s'han extingit.
- Collites de les zones més pobres del planeta són víctimes de greus inundacions cada any.

Els grups més vulnerables davant de la contaminació són: nens, dones embarassades, persones amb problemes respiratoris i ancians amb malalties cròniques. Un altre sector de la població amb un alt risc de patir els efectes causats per la contaminació són els que treballen a l'exterior o en llocs on s'està més exposat a emissions de contaminants, com carrers plens de trànsit vehicular o determinades indústries.

Alguns estudis vinculen la pobresa amb una major probabilitat de patir els efectes de la contaminació atmosfèrica. Els pobres viuen amuntegats en cases sense les necessitats

bàsiques, en condicions perjudicials per a la salut dels seus fills o conreant en terres degradades.

## **2.1. Tipus de contaminació.**

Els diferents tipus de contaminació estan classificats segons com afecten o resulten les causes de contaminació particulars. Cada un d'aquests tipus té les seves pròpies causes i conseqüències distintives. L'estudi de la contaminació ambiental ajuda a entendre els conceptes bàsics amb més detall i produir protocols per als tipus específics. En conseqüència, els principals tipus de contaminació són els següents:

### **Contaminació de l'aigua:**

La contaminació de l'aigua pot procedir de fonts naturals o d'activitats humanes. En l'actualitat la més important, sens dubte, és la provocada per l'home. El desenvolupament i la industrialització, la gran generació de residus i l'ús de mitjans de transport fluvials són causants de contaminació de les aigües.

### **Contaminació de l'aire:**

La contaminació de l'aire altera la composició química i natural d'aquest. La respiració és un procés important per a la vida de tots els éssers vius, per tant, si l'aire que ens envolta està contaminat amb gasos verinosos, és a dir, si la composició de l'aire es veu alterada, això tindria un efecte fatal en nosaltres.

### **Contaminació del sòl:**

La contaminació del sòl suposa l'alteració de la superfície terrestre amb substàncies químiques que resulten perjudicials per a la vida en diferent mesura, posant en perill ecosistemes i també la nostra salut.

### **Contaminació tèrmica:**

La contaminació tèrmica està basada en la descomposició de la qualitat de l'aigua i l'aire, pot afectar la qualitat de vida per la pujada de temperatura o per la baixada de temperatura i afecta de manera negativa als éssers vius.

### **Contaminació lumínica:**

La contaminació lumínica consisteix en la brillantor del cel nocturn produïda per la mala qualitat de l'enllumenat de les nostres ciutats. Això vol dir que enviem la llum cap amunt en comptes d'enviar-la cap a terra, on realment es necessita.

### **Contaminació acústica:**

La contaminació acústica és la presència en l'ambient de sorolls o vibracions que impliquin molèstia, risc o mal a les persones i l'entorn.

### **Contaminació radioactiva:**

Aquest tipus de contaminació és en el que m'he centrat per fer el meu treball i el que explicaré a continuació.

## **3. Què és la contaminació radioactiva?**

La contaminació radioactiva es defineix com la contaminació física de l'aire, el sòl, l'aigua i els altres materials radioactius. La capacitat de determinats materials per emetre protons, raigs gamma i electrons pels seus nuclis es coneix com la radioactivitat. Les radiacions ambientals poden ser de diferents fonts i poden ser naturals o artificials.

Els elements radioactius es produeixen en el medi ambient i també afecten altres materials, incloent l'estrónci i el iode. Els materials radioactius produeixen gasos i partícules que són transportades pel vent. La pluja deriva les partícules radioactives al

sòl, aquest procés es coneix com a **caiguda nuclear**. El sòl transfereix aquestes substàncies radioactives a les plantes i, finalment, arriben al cos humà on també causen molts efectes secundaris. Els materials radioactius també són transmesos del sòl a l'aigua on afecten als animals aquàtics i arriben a l'ésser humà a través de la cadena alimentària. (*Veure Annex IV*)

### **3.1. Què és la radioactivitat?**

Com el seu nom indica, la radioactivitat és l'acte d'emetre radiació espontàniament. Això ho fa un nucli atòmic que, per alguna raó, és inestable; aquest vol “renunciar” a una mica d'energia per passar a una configuració més estable. La paraula radioactivitat va ser inventada per una de les seves primeres investigadores: Marie Curie.

La radioactivitat és el procés en el qual un àtom emet partícules d'alta energia o ones. Això succeeix quan el nucli d'un àtom es desintegra parcialment. Llavors el número de protons i neutrons canvia en el nucli, és a dir, es transforma en un àtom completament diferent amb propietats distintes.

A finals del segle IX, els científics van observar que certes substàncies produïen rajos misteriosos. Marie Curie va ser la primera en proposar que la radioactivitat era causada per alguna cosa que passava dins dels àtoms dels elements radioactius.

Una gran quantitat de neutrons en un nucli el porten a emetre una partícula beta negativa, que canvia un dels neutrons en un protó. Llavors hi ha massa protons en un nucli que el porten a emetre un positró (electró carregat positivament), canviant un protó en un neutró. Massa energia porta al nucli a emetre un raig gamma que descarta una gran energia sense canviar cap de les partícules del nucli. La gran quantitat de massa fa que el nucli emeti una partícula alfa, descartant quatre partícules pesades (dos protons i dos neutrons).

#### *3.1.1. Com es mesura?*

En considerar els efectes de la radioactivitat sobre els éssers vius, hem de distingir tres paràmetres: la quantitat o activitat, la intensitat, i els efectes sobre un ésser viu o els efectes sobre una població. Aquest últim paràmetre és molt important.

	<i>Què és?</i>	<i>Com es mesura?</i>
<i>Radioactivitat</i>	Activitat d'un radionúclid	<b>Becquerel (Bq):</b> 1 Bq = 1 desintegració/segon <b>Curie (Ci):</b> 1 Ci = 3,7 · 10 <sup>10</sup> Bq
<i>Exposició</i>	Quantitat de radiació que viatja per l'aire (ionitzat)	<b>Roetgen:</b> 1Roetgen = Quantitat de radiació $\gamma$ o raigs-X necessària per ionitzar l'aire i de la qual resulti una càrrega elèctrica de 0,000258 C/kg d'aire en condicions estàndard.
<i>Dosi absorbida</i>	Energia cedida per la radiació ionitzant en interaccionar amb un material	<b>Gray (Gy):</b> 1 Gray = 1 J/kg
<i>Dosi equivalent</i>	Valora els efectes biològics d'una determinada dosi absorbida de radiació ionitzant	<b>Sievert (Sv):</b> 1 Sv = 1 J/kg
<i>Dosi per a una població</i>	Suma de la dosi individual rebuda pels membres d'una població	Unitat: <b>Persona-Sievert</b> <sup>1</sup>

**Fig. 1.** Taula sobre les mesures que s'utilitzen per considerar els efectes de la radiació.

### **Relació entre dosi absorbida i dosi equivalent**

Sievert = Gray · Q, (sent Q un factor de qualitat).

Q = 1 per a radiació electromagnètica (raigs-X, radiació  $\gamma$  i  $\beta$ ).

Q = 20 per partícules  $\alpha$ .

Q = 1 a 20 per neutrons (depenent de la seva energia).

<sup>1</sup> A partir de l'estimació d'una dosi col·lectiva es pot aplicar un factor de risc per obtenir una estimació estadística del nombre de càncers addicionals que poden resultar d'una dosi rebuda per la població

### 3.1.2. Tipus de radiacions

#### 3.1.2.1. Radiacions ionitzants

La classificació dels diferents tipus de radiació es va realitzar entre els anys 1898 i 1902. Ernest Rutherford va identificar dos tipus de "raigs" radioactius que va designar amb les lletres gregues alfa i beta.

L'esquema obeïa, entre altres propietats, a la capacitat de penetració de la radiació en la matèria, sent la radiació alfa molt menys penetrant que la beta. A mitjans de l'any 1902 va afegir un tercer tipus, encara més penetrant que els anteriors, que va denominar gamma.

#### **Alfa $\alpha$**

Una partícula alfa és idèntica a un nucli d'heli, formada per dos protons i dos neutrons units.

Inicialment s'escapa del nucli del seu àtom primari, invariablement un dels elements més pesats, per processos mecànics quàntics i és repel·lit més enllà d'ell per l'electromagnetisme, ja que tant la partícula alfa com el nucli es carreguen positivament. El procés canvia l'àtom original a partir del qual la partícula alfa s'emet en un element diferent. El seu nombre de massa disminueix per quatre i el seu nombre atòmic per dos. Per exemple, l'urani-238 decau al tori-234.

De vegades un d'aquests nuclis fills també serà radioactiu, generalment en decadència. Les partícules alfa s'aturaran en uns pocs centímetres d'aire o un full de paper, tot i que aquest tipus de radiació fa més mal als materials que toca.

#### **Beta $\beta$**

Es presenta en dos tipus:  $\beta^+$  i  $\beta^-$ .

L'emissió  $\beta^-$  es produeix per la transformació d'un dels neutrons del nucli en un protó, un electró i un antineutrí. Els subproductes de la fusió dels reactors nuclears sovint pateixen  $\beta^-$  decadència ja que és probable que tinguin un excés de neutrons.

El procés de  $\beta^+$  és similar, però implica un protó canviant-se en un neutró, un positró i un neutrí.

Les partícules beta seran absorbides per uns quants mil·límetres d'alumini.

### Gamma $\gamma$

Després que un nucli pateixi alteracions alfa o beta, sovint es deixa amb excés d'energia.

De la mateixa manera que un electró es pot moure a un estat d'energia més baix emetent un fotó, un nucli atòmic perd energia mitjançant l'emissió d'un raig gamma.

La radiació gamma és la més penetrant de les tres, no es pot aturar completament, però es pot reduir la seva intensitat amb uns quants centímetres de plom.

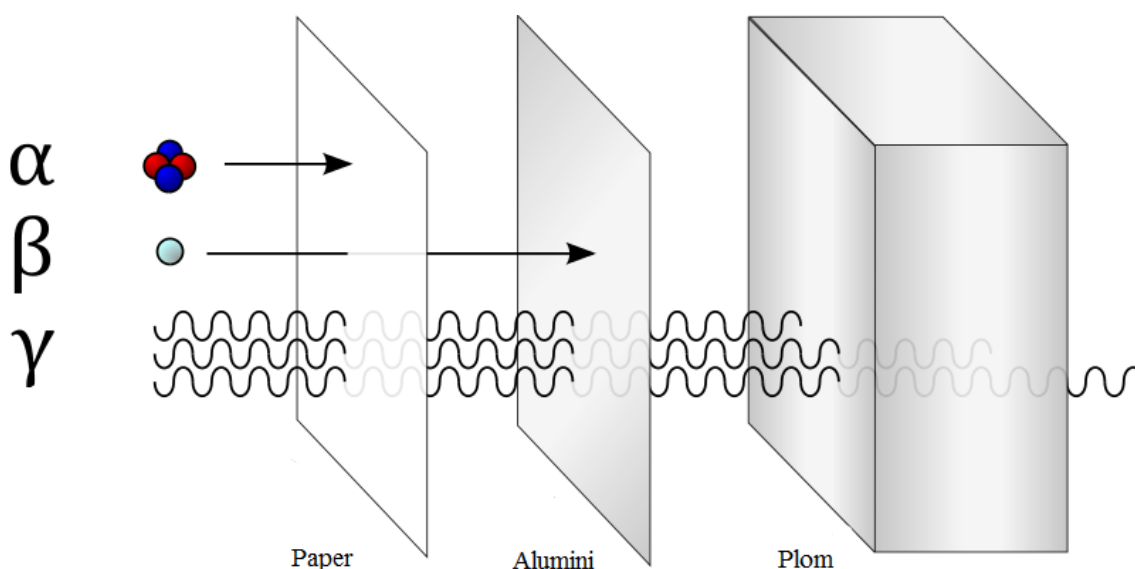


Fig. 2. Esquema sobre la capacitat de penetració d'alfa, beta i gamma. Font: Texas Gateway [en línia].

Als tipus de radiació classificats per Rutherford, cal afegir-hi:

**La radiació per neutrons:** apareix en la naturalesa en el procés de fissió espontània. Els neutrons tenen més capacitat de penetració que els raigs gamma, i només poden ser detinguts per una gruixuda barrera de formigó, aigua o parafina (compostos molt rics en hidrogen).

**Raigs X:** Són fotons, però amb una capacitat de penetració menor que els gamma. Si bé es tracta del mateix tipus de radiació, es manté la nomenclatura gamma i X a causa de la causa que la produeix: mentre que els raigs gamma són d'origen nuclear (reestructuració



del nucli atòmic), els raigs X tenen el seu origen en la reestructuració dels electrons en l'escorça atòmica.

### 3.1.2.2. Radiacions segons la seva naturalesa

#### **Radiació artificial**

La radiació artificial és aquella produïda per l'home en diverses activitats: medicina, indústria, mineria, proves d'armes nuclears, generació d'energia i accidents nuclears, entre d'altres. És important destacar que els usos relacionats amb la medicina, àmpliament beneficiosos, són els que constitueixen gairebé la totalitat de la radiació artificial.

<b>Fonts artificials</b>	<b>% radiació anual</b>
<i>Medicina</i>	14%
<i>Industrial</i>	0,4%
<i>Militar (proves nuclears)</i>	0,2%
<i>Accidental</i>	0,07%
<b>Total</b>	<b>~14'67%</b>

**Fig. 3.** Taula sobre les fonts de radiació artificial.

#### **Radiació natural**

La radiació natural és aquella no produïda per l'home. Es produeix per les causes següents:

-

#### Radiació còsmica:

La dosi deguda als raigs còsmics depèn de la latitud (més dosis en els pols que a l'equador) i de l'altitud (més dosis a les muntanyes que a nivell del mar). Els edificis atenuen en part la radiació còsmica, però part de la radiació, la component neutrònica principalment (15%), travessa amb facilitat els materials de construcció. La dosi mitjana és 0,39 mSv a l'any, oscil·lant entre 0,3-1 mSv. Els viatgers habituals de vols transoceànics reben una dosi anual més alta que la mitjana a causa de la seva major exposició als raigs còsmics.

- **Radó:**

El gas radó procedeix de l'urani que es troba de forma natural a la terra. A Espanya, la dosi mitjana procedent del radó és de 1,15 mSv per any, podent aconseguir valors superiors, de fins a 40 mSv per any, en àrees concretes. Aquesta dosi es rep, fonamentalment, a l'interior dels edificis ja que en l'exterior el radó es dispersa en l'aire amb facilitat. Les concentracions de radó a l'interior dels habitatges depenen principalment de les característiques geològiques del sòl, i del tipus d'habitatge, i en menor mesura dels materials de construcció i de les característiques del règim de ventilació de les habitatges.

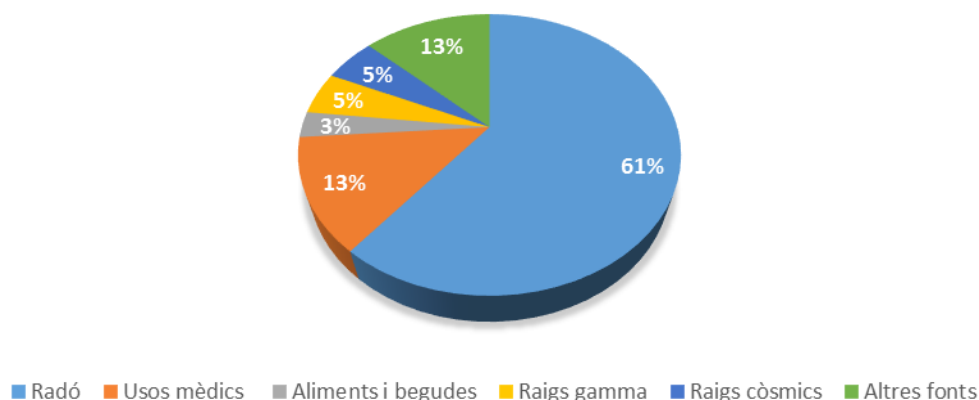
- **Raigs gamma procedents de la terra i dels edificis:**

Tothom rep contínuament raigs gamma emesos pels materials radioactius naturals existents a la terra. Els materials que s'utilitzen en la construcció, que s'extreuen de la terra, són també radioactius, de manera que les persones estan sotmeses a les radiacions ionitzants, tant a l'aire lliure com en llocs tancats. La dosi rebuda depèn del tipus de les roques que formen el sòl i dels materials amb què estan construïts els edificis. La dosi mitjana a Espanya és de 0,48 mSv, podent arribar fins a 0,6 mSv per any, en certes àrees (principalment les uraníferes).

- **Aliments i begudes:**

El potassi-40, en particular, és la font més important d'irradiació interna ja que està present en els aliments i en l'aigua de beguda. Existeixen molt poques possibilitats de reduir l'exposició originada per la presència de radioactivitat natural en la dieta, que dóna una dosi mitjana de 0,29 mSv per any. El rang és d'entre 0,2-0,8 mSv. El marisc concentra el material radioactiu de tal manera que, fins i tot, sense que hi hagués radioactivitat artificial, les persones que consumeixen grans quantitats de musclos, ostres, cloïsses i cargols marins poden rebre una dosi de radioactivitat natural per alimentació fins a un 50% més alta que la mitjana.

## Dosis mitjana anual de radiació



**Fig. 4.** Diagrama amb la dosi mitjana anual rebuda per un membre de la població que viu en una zona d'alt contingut de radó. La dosi anual suposa una mitjana de 8,4 mSv.

### 3.2. La radiació en les persones

#### 3.2.1. Som radioactius?

L'ésser humà és radioactiu per naturalesa. Tots nosaltres ho som en major o menor mesura, però és natural. El cos humà és radioactiu pel simple fet d'estar compost de matèria i la matèria sempre té un percentatge, encara que sigui molt petit, de substàncies que emeten radioactivitat. El cos humà conté una petitíssima proporció d'àtoms radioactius. Aquests són:

**Carboni-14:** El carboni compon la major part del nostre cos. Entre els àtoms d'aquest element hi ha diversos isòtops, és a dir àtoms de carboni que contenen diferent nombre de neutrons. El carboni-12, és el més abundant i no és radioactiu, però, al costat d'ell, sol haver-hi petites quantitats d'un isòtop que té dos neutrons més: el carboni-14. Aquest sí que és radioactiu.

Els àtoms de carboni 14, es creen constantment en l'atmosfera per acció dels raigs còsmics i es van desintegrant poc a poc, la meitat es desintegra cada 5.730 anys, però, com la producció és contínua, en l'atmosfera hi ha sempre una quantitat més o menys constant. Les plantes l'incorporen als seus teixits i nosaltres ho absorbim a través del menjar. Un de cada 10.000 milions d'àtoms de carboni del nostre cos és radioactiu.

**Urani-238:** En el cos humà hi ha urani radioactiu, encara que de molt baixa activitat. Es calcula que cada un de nosaltres porta uns 90 micrograms d'urani-238 en el cos, que produeixen entre 3 i 5 desintegracions per segon.

**Potassi-40:** El potassi és un element molt important en les cèl·lules i músculs. Es calcula que, per cada 100.000 àtoms de potassi normal, una dotzena són radioactius. Una persona de 70kg conté uns 140 grams de potassi, dels quals 0,017 grams són radioactius. Sembla poc, però, aquesta petitíssima quantitat produeix 266.000 desintegracions cada minut.

**Plom-210:** És un producte de la desintegració d'urani, així doncs, com tenim urani també tenim als seus fills. Si, a més, respirem fum de cigarrets, ja sigui activa o passivament, incorporem una petita ració addicional d'àtoms de plom-210 als nostres pulmons.

**Tori-232:** Està present en el cos en molt petites quantitats i, en desintegrar-se, genera radi-226 i radi-228. El radi sol estar present en l'aigua que bevem.

**Triti-3:** Es produeix, com el carboni-14, per efecte dels raigs còsmics sobre l'atmosfera i, en respirar, l'acollim en els nostres cossos.

La llista és molt més llarga si es tenen en compte tots els subproductes que es generen en cada desintegració. Una persona normal experimenta unes 300.000 desintegracions cada minut de la seva vida. Malgrat el voluminós de la xifra, es tracta d'una radioactivitat molt petita que és absorbida pels teixits corporals sense problemes.

### *3.2.2. Factors que determinen el risc per la salut*

La radiació controlada no representa cap risc. Serveix per tractar el càncer (radioteràpia) i per diagnosticar moltes malalties (a través de radiografies, per exemple).

Hi ha diferents maneres en les quals una persona pot absorbir radiació (*veure Annex IV*), segons a la distància a la qual es trobi de la font radioactiva, la seva sensibilitat i, per

descomptat, de les dosis i els materials radioactius emesos els efectes tindran unes repercussions o unes altres sobre la persona.

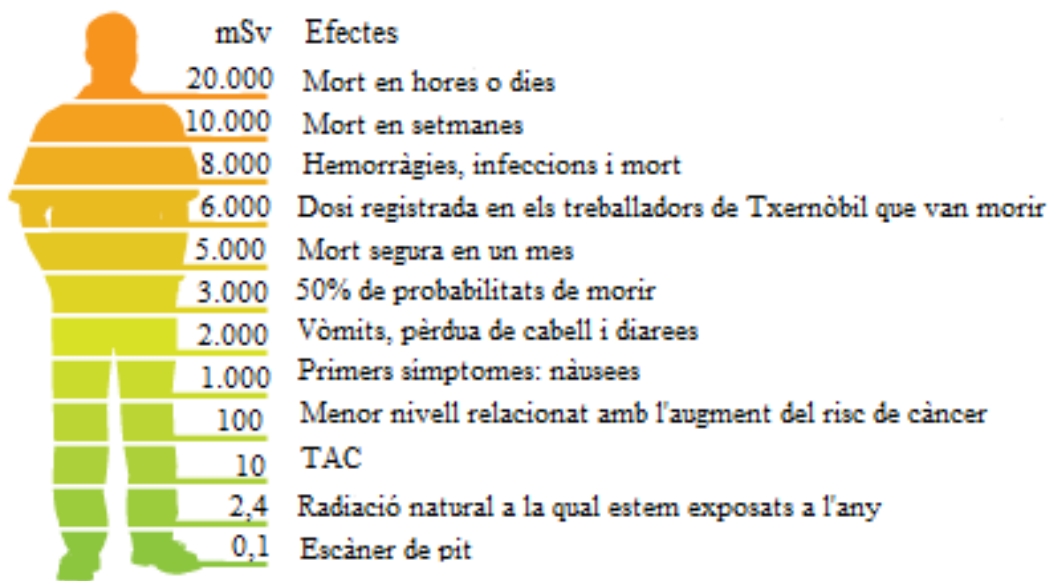
Els dos principals paràmetres per valorar el risc davant d'una radiació són la dosi i el temps d'exposició. Com més gran és la dosi de radiació, més gran és la probabilitat d'emmalaltir o morir com a conseqüència de la radiació. L'altre factor important és el temps, ja que una exposició continuada a una radiació amb dosi, en principi, baixa, també pot ocasionar danys importants per a la salut.

En general, el cos humà tolera millor dosis baixes repartides en el temps que una dosi alta en un moment puntual, ja que les estratègies cel·lulars per reparar el dany en aquest últim cas es veuen desbordades.

### *3.2.3. Efectes en l'organisme.*

A causa de la desintegració s'alliberen diferents tipus de radiacions i partícules que poden modificar o alterar les molècules de les nostres pròpies cèl·lules afectant i provocant una alteració en el seu normal funcionament.

Si la dosi de radiació és petita, les cèl·lules (per si mateixes) són capaces de reparar el dany causat o de reemplaçar les cèl·lules mortes com a conseqüència de la radiació. Però si la dosi és elevada, es produeix la destrucció d'un gran nombre de cèl·lules i/o la inducció de càncers com a conseqüència de danys irreversibles en l'ADN (mutacions) que no han pogut ser reparats.



**Fig. 5.** Esquema dels efectes de la radiació segons les dosis rebudes. *Font: CNA [en línia].*

Als efectes directes sobre la salut que provoquen les radiacions comentats anteriorment, cal tenir en compte també l'efecte indirecte i a llarg termini sobre l'augment de la freqüència de càncers com a conseqüència del dany genètic.

Aquest augment de la freqüència de càncer, és probabilístic, a major dosi de radiació rebuda, major risc incrementat de patir càncer. Així per exemple, amb una exposició de 1.000 mSv hi ha un increment del 5% del risc de patir càncer anys després en la població exposada. Si l'exposició s'eleva a 3.000 mSv hi haurà un increment del risc de càncer el 42%.

#### 3.2.4. *Qui és més vulnerable a les radiacions?*

Com més joves, més gran és la sensibilitat a les radiacions. L'organisme cel·lular es renova molt ràpidament i si alguna cèl·lula es torna cancerosa, el tumor es desenvolupa amb més rapidesa.

### 3.3. **Efectes de la radioactivitat sobre el medi ambient?**

#### **Efectes positius**

La radiació natural sol ser beneficiosa per al creixement de les plantes. És necessari que moltes plantes rebin alguna forma de radiació no ionitzant. La radiació que produeix

llum per tal que la fotosíntesi es produeixi és un efecte positiu que la radiació té sobre la vida vegetal.

### **Efectes negatius**

És cert que, durant el cicle de producció de les centrals nuclears, no s'alliberen tants elements radioactius com per posar en perill la vida d'algú o el medi ambient. El perill de radioactivitat es troba molt abans de començar aquest cicle. L'urani és el producte base de qualsevol artefacte nuclear. S'extreu de mines i es transforma per tal de poder-lo utilitzar, és el combustible que ens dona l'electricitat.

En el millor dels casos, les pólvores resultants del tractament de l'urani són filtrades per limitar la seva emissió a l'atmosfera, i els líquids s'emmagatzemen en dies estèrils on són neutralitzats amb compostos com la calç i es deixen decantar per retirar els sòlids resultants. Les aigües impures s'envien a plantes depuradores on són tractades amb compostos com clorur bàric per neutralitzar el radi.

Però no sempre es fa això. A vegades, les aigües no són tractades correctament o són emmagatzemades en llocs on poc a poc van filtrant-se al subsòl. Aquesta radiació ionitzada pot provocar un debilitament de les llavors i mutacions freqüents.

## **4. Energia nuclear**

### **4.1. Què és?**

L'energia nuclear és l'energia en el nucli atòmic, és a dir, la part central d'un àtom. Al nucli de cada àtom hi ha dos tipus de partícules (neutrons i protons) que es mantenen unides. L'energia nuclear és l'energia que manté units neutrons i protons.

La tecnologia nuclear ens permet transformar aquest tipus d'energia en altres tipus d'energia: energia elèctrica (en les centrals nuclears), energia cinètica (en determinats sistemes de propulsió), etc.

L'ús més comú i conegut de l'energia nuclear és la producció d'energia elèctrica o electricitat.

*He realitzat una entrevista sobre el tema a Leticia Fontán, per veure-la consultar annex I.*

## **4.2. Com funciona?**

Pràcticament totes les centrals nuclears en producció utilitzen la fissió nuclear ja que la fusió nuclear actualment és inviable tot i estar en procés de desenvolupament.

El funcionament d'una central nuclear és idèntic al d'una central tèrmica que funcioni amb carbó, petroli o gas excepte en la forma de proporcionar energia calorífica en l'aigua per convertir-la en vapor. En el cas dels reactors nuclears aquesta calor s'obté mitjançant les reaccions de fissió o fusió nuclear dels àtoms del combustible nuclear, mentre que a les altres centrals tèrmiques s'obté energia tèrmica mitjançant la crema d'un o diversos combustibles fòssils.

Per fer funcionar una central nuclear es disposa d'una gran varietat de tipus de reactors nuclears. No obstant això, tots els tipus de reactors nuclears tenen un mateix objectiu: utilitzar la calor de les reaccions de fissió o fusió nuclear per accionar les turbines que generaran electricitat.

De tots els tipus de reactors nuclears destaquen dos: el reactor nuclear d'aigua a pressió (PWT) i el reactor nuclear d'aigua en ebullició (BWR). El reactor d'aigua a pressió és el més utilitzat a nivell mundial i el que explicaré simplificadament a continuació.

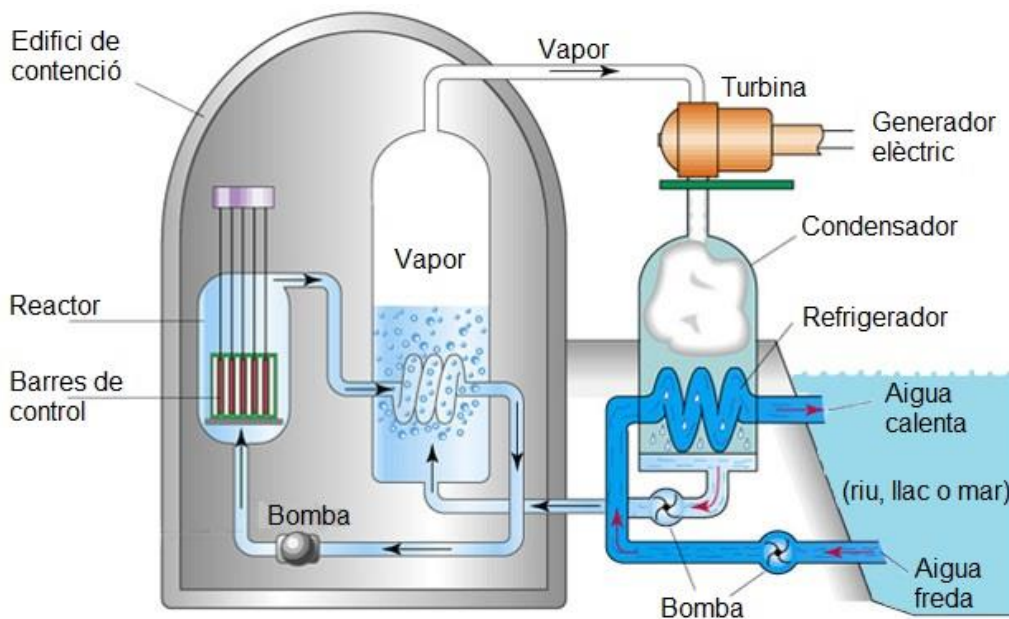
### **Funcionament d'un reactor d'aigua a pressió:**

El principi bàsic del funcionament d'una central nuclear amb un reactor d'aigua a pressió es pot simplificar en aquests 4 passos:



- 1) Obtenció d'energia tèrmica mitjançant la fissió nuclear del nucli dels àtoms del combustible nuclear.
- 2) Generar vapor d'aigua mitjançant l'energia tèrmica obtinguda anteriorment en el generador de calor.
- 3) Accionar un conjunt de turbines mitjançant el vapor d'aigua obtingut.
- 4) Aprofitar l'energia mecànica de les turbines per accionar un generador elèctric. Aquest generador elèctric generarà electricitat.

Des d'un punt de vista físic s'observen diversos canvis d'energia: inicialment tenim energia nuclear (la qual manté els nuclis dels àtoms cohesionats), posteriorment, en trencar-se es converteix en energia tèrmica. Part de l'energia tèrmica es converteix en energia interna de l'aigua al convertir-se en vapor segons els principis de la termodinàmica. L'energia interna i l'energia calorífica de l'aigua es transformen en energia cinètica en accionar la turbina. Finalment, el generador converteix l'energia cinètica en energia elèctrica.



**Fig. 6.** Esquema del funcionament d'una central nuclear d'aigua a pressió. *Font: Energia nuclear [en línia].*

L'encarregat de convertir l'energia nuclear en energia tèrmica és el reactor nuclear. És l'encarregat de provocar i controlar aquestes fissions atòmiques que generaran una gran

quantitat d'energia calorífica. Amb aquesta calor s'escalfarà aigua per convertir-la en vapor a alta pressió i temperatura.

L'aigua transformada en vapor a alta temperatura sortirà de l'edifici de contenció a causa de l'altre pressió a què estarà sotmès fins arribar a la turbina i fer-la girar. En aquest moment part de l'energia calorífica del vapor es transformarà en energia cinètica. Aquesta turbina està connectada a un generador elèctric mitjançant el qual es transformarà l'energia cinètica en energia elèctrica.

D'altra banda, el vapor d'aigua que surt de la turbina, encara que ha perdut energia calorífica segueix estant en estat gasós i molt calent, pel que cal refrigerar-lo abans de tornar-lo a introduir en el circuit. En sortir de la turbina es dirigeix a un dipòsit de condensació on estarà en contacte tèrmic amb unes canonades d'aigua freda. El vapor d'aigua es torna líquid i, mitjançant una bomba, es redirigeix novament al reactor nuclear per tornar a repetir el cicle.

Per aquest motiu les centrals nuclears sempre estan instal·lades prop d'una font abundant d'aigua freda (mar, riu, llac), per aprofitar aquesta aigua al dipòsit de condensació.

### **4.3. Avantatges i inconvenients.**

#### **- Avantatges de l'energia nuclear:**

L'obtenció d'energia elèctrica mitjançant energia nuclear permet reduir l'ús de combustibles fòssils. Aquesta reducció implica la reducció d'emissions de gasos contaminants, el que, al seu torn, redueix el problema de l'escalfament global del planeta. A més, millora la qualitat d'aire que respirem i això implica un descens de malalties i millora en la qualitat de vida.

Actualment es consumeixen més combustibles fòssils dels que es produeixen de manera que en un futur no molt llunyà aquests recursos s'esgotarien o el preu pujaria tant que serien inaccessibles per a la majoria de la població.

Un altre avantatge està en la quantitat de combustible necessari; amb poca quantitat de combustible s'obtenen grans quantitats d'energia. Això suposa un estalvi en matèria primera però també en transports, extracció i manipulació del combustible nuclear. El cost del combustible nuclear suposa el 20% del cost de l'energia generada.

La producció d'energia elèctrica és contínua. Una central nuclear està generant energia elèctrica durant pràcticament un 90% de les hores de l'any. Això redueix la volatilitat en els preus que hi ha a altres combustibles com el petroli.

#### - **Inconvenients de l'energia nuclear:**

Anteriorment s'ha comentat l'avantatge que suposa la utilització de l'energia nuclear per a la reducció del consum de combustibles fòssils. Es tracta d'un argument molt utilitzat per les organitzacions a favor de l'energia nuclear però és una veritat a mitges. Cal tenir en compte que la gran part del consum de combustibles fòssils prové del transport per carretera, del seu ús en els motors tèrmics (automòbils de gasoil, gasolina, etc.). L'estalvi en combustibles fòssils en la generació d'energia elèctrica és proporcionalment molt baix.

Deixant de banda els combustibles, trobem un altre problema. Tot i l'alt nivell de sofisticació dels sistemes de seguretat de les centrals nuclears el component humà sempre té certa repercussió. Davant d'un imprevist o en la gestió d'un accident nuclear no es pot garantir que les decisions preses pels responsables siguin sempre les més apropiades. Tenim dos bons exemples a Txernòbil i Fukushima. Les decisions preses pel personal que treballa en aquests llocs poden tenir desastrosos resultats.

Un altre desavantatge important és la difícil gestió dels residus nuclears generats. Aquests triguen moltíssims anys a perdre la seva radioactivitat i perillositat.

Els reactors nuclears, un cop construïts, tenen data de caducitat. Passada aquesta data s'han de desmantellar, de manera que en els principals països de producció d'energia nuclear per mantenir constant el nombre de reactors operatius s'haurien de construir aproximadament 80 nous reactors nuclears en els propers deu anys.

Precisament perquè les centrals nuclears tenen una vida limitada. La inversió per a la construcció d'una planta nuclear és molt elevada i cal recuperar-la en molt poc temps, de manera que això fa pujar el cost de l'energia elèctrica generada. En altres paraules, l'energia generada és barata comparada amb els costos del combustible, però l'haver d'amortitzar la construcció de la planta nuclear l'encareix sensiblement.

A més, genera dependència de l'exterior. Pocs països disposen de mines d'urani i no tots els països disposen de tecnologia nuclear, per tant, han de contractar les dues coses a l'estranger.

La majoria dels reactors nuclears actuals funcionen mitjançant reaccions nuclears per fissió. Aquestes reaccions es produeixen en cadena de manera que si els sistemes de control fallessin, cada vegada es produirien més i més reaccions fins a provocar una explosió radioactiva que seria pràcticament impossible de contendre.

Probablement el desavantatge més alarmant sigui l'ús que se li pot donar a l'energia nuclear a la indústria militar.

## **5. Què és l'escala INES?**

L'escala INES és un instrument per quantificar la gravetat d'un succés nuclear i radiològic (ja siguin accidents o incidents nuclears). INES són les sigles en anglès d'International Nuclear Events Scale (Escala Internacional de Successos Nuclears).

S'utilitza a tot el món per comunicar al públic informació sistemàtica sobre la importància d'aquests esdeveniments nuclears i radiològics des del punt de vista de la seguretat.

### **5.1. Descripció de l'escala INES.**

#### **Nivell 7 – Accident greu**

Alliberament greu de materials radioactius amb amplis efectes en la salut i el medi ambient. Requereix l'aplicació i prolongació de les contramesures previstes.

#### **Nivell 6 – Accident important**

Alliberament important de materials radioactius que probablement requereix l'aplicació de les contramesures previstes.

#### **Nivell 5 – Accident amb conseqüències de més abast**

Alliberament limitat de materials radioactius que probablement requereix l'aplicació d'algunes de les contramesures previstes. En aquest nivell es pateixen diverses defuncions per radiació, s'imposen barreres i controls radiològics i el nucli del reactor tindrà danys greus.

#### **Nivell 4 – Accident amb conseqüències d'abast local**

Lleu alliberament de materials radioactius amb escassa probabilitat d'haver d'aplicar les contramesures previstes, llevat dels controls locals d'aliments. Provoca almenys una defunció per radiació i s'imposen barreres i controls radiològics. Es degut a una fusió o dany al combustible que provoca un alliberament superior al 0,1% de l'inventari del nucli.

#### **Nivell 3 – Incident important**

Exposició deu vegades superior al límit anual establert per a l'exposició dels treballadors. Efecte no letal de la radiació en la salut. S'imposen barreres i controls radiològics. Les taxes d'exposició són superiors a 1 Sv/h en una zona d'operació. Una zona no prevista en el disseny resulta contaminada, amb escassa probabilitat d'exposició important del públic.

#### **Nivell 2 - Incident**

Exposició d'una persona del públic per sobre de 10 mSv, per sobre dels límits anuals reglamentaris. S'imposen barreres i controls radiològics. Els nivells de radiació són superiors a 50 mSv/h en una zona d'operació.

Una zona no prevista en el disseny resulta contaminada. Hi ha errors importants en les disposicions de seguretat, encara que sense conseqüències reals.

### Nivell 1 - Anomalia

Sobreexposició d'una persona del públic per sobre dels límits anuals reglamentaris. Es troben problemes menors en components de seguretat, amb importants mesures de defensa en profunditat pendents d'aplicació.

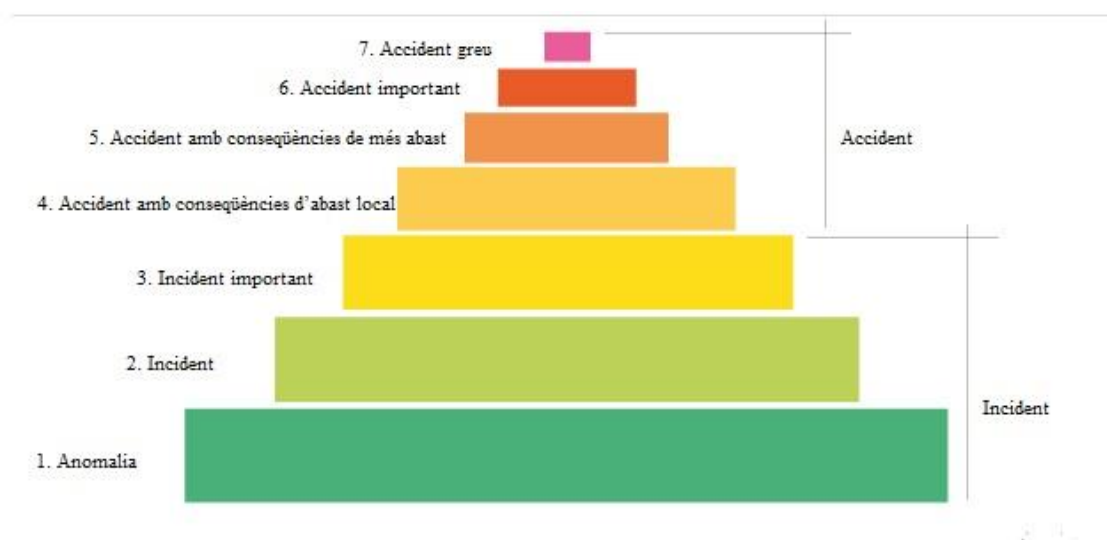


Fig. 7. Escala Internacional de Successos Nuclears i radiològics (INES). Font: *El mundo* (periòdic).

Cada ascens de nivell en l'escala indica que la gravetat dels successos és, aproximadament, deu vegades superior. Quan els successos no revesteixen importància des del punt de vista de la seguretat se'ls anomena "desviacions" i es classifiquen "A sota de l'escala/Nivell 0".

## 6. PRÀCTICA 1: Comparativa de dos llocs afectats per contaminació radioactiva

### 6.1. Hiroshima

El 6 d'agost de 1945, durant la Segona Guerra Mundial, un avió atacant nord-americà B-29 (l'Enola Gay) va deixar caure la primera bomba atòmica del món sobre la ciutat japonesa d'Hiroshima.

#### 6.1.1. Àrees afectades

En menys d'un segon, una bola de foc s'havia expandit a 900 peus. L'ona explosiva va trencar les finestres a una distància de deu milles i es va sentir tan lluny com 37 quilòmetres. Es van demolar més de dos terços dels edificis d'Hiroshima (un 69%), i entre un 6-7% van resultar danyats. Els centenars d'incendis, inflamats pel pols tèrmic, es van combinar per produir una tempesta de foc. Van haver-hi incendis en 11,4 km<sup>2</sup>. Els nord-americans van estimar que 12,1 km<sup>2</sup> de la ciutat van ser destruïts.

### 6.1.2. Efectes en les persones

#### Efectes precoços per a la salut

Entre 70 000 i 80 000 persones, prop del 30% de la població d'Hiroshima, van morir instantàniament, mentre que altres 70 000 van resultar ferides. Prop del 90% dels doctors i el 93% de les infermeres que es trobaven a Hiroshima van morir o van resultar ferits, ja que la majoria es trobava al centre de la ciutat, àrea que va rebre el major dany.

Segons un dossier de la secretaria del president d'Estats Units en aquell moment, Harry S. Truman, aquests van ser els resultats del llançament de la bomba:

Densitat de la població per milles quadrades	Milles quadrades destrossades	Morts i desapareguts	Lesionats	Taxa de mortalitat per milles quadrades destrossades	Taxa de víctimes per milles quadrades
<b>46.000</b>	4,7	70/80.000	70.000	15.000	32.000

Fig. 8. Taula amb dades sobre la bomba llençada a Hiroshima pels americans.

#### Efectes tardans per la salut

Augment en la taxa de mortalitat degut al càncer.

<i>Dosis (Sv)</i>	<i>Persones</i>	<i>Morts observades</i>	<i>Morts esperades</i>	<i>Fracció atribuïble</i>
<b>0 (&lt;0,006)</b>	36.459	3.013	0	0
<b>0,005-0,1</b>	32.849	2.795	34	1%
<b>0,1-0,2</b>	5.467	504	29	6%
<b>0,2-0,5</b>	6.308	632	75	12%
<b>0,5-1,0</b>	3.202	336	78	23%
<b>1,0-2,0</b>	1.608	215	70	33%
<b>&gt;2,0</b>	679	83	49	59%
<b>TOTAL</b>	<b>86.572</b>	<b>7.578</b>	<b>334</b>	

**Fig. 9.** Taula amb la taxa de mortalitat observada i esperada degut al càncer entre els anys 1950-1990.

### Esperança de vida dels exposats a la radiació

		<i>Anys</i>					
		<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<i>Edats</i>	0-9	16.450	15.990	15.290	14.280	12.710	10.390
	10-19	14.500	13.540	12.040	9.800	6.780	3.620
	≥ 20	12.800	8.910	5.430	2.710	970	100
	<b>Total</b>	<b>43.750</b>	<b>38.440</b>	<b>32.760</b>	<b>26.790</b>	<b>20.460</b>	<b>14.110</b>

**Fig. 10.** Taula amb el nombre de supervivents entre els anys 1995-2020.

## 6.2. Txernòbil

El 26 d'abril de 1986 va ocórrer l'accident nuclear més important de la història de la indústria nuclear a la unitat 4 de la central nuclear de Txernòbil (a l'antiga República d'Ucraïna de la Unió Soviètica). Les explosions que van trencar el reactor nuclear i el foc que va durar 10 dies van tindre com a resultat l'alliberació de materials radioactius al medi ambient.

### 6.2.1. Àrea afectada



El núvol que va sortir del reactor va estendre grans quantitats de materials radioactius, especialment iode i cesi, per tota Europa.

El iode-131, gran contribuïdor en les dosis de tiroide, té una vida molt curta (8 dies) i es desintegra en les primeres setmanes de l'accident. El cesi-137, que contribueix en dosis externes i internes, té una vida més llarga (30 dies) i encara és mesurable als sòls i menjars de moltes parts d'Europa.

La contaminació de Txernòbil no es va estendre uniformement per les regions adjacents, sinó que es va repartir irregularment en forma de bosses radioactives depenent de les condicions meteorològiques.

### *6.2.2. Efectes en les persones*

Els efectes de l'exposició a la radiació es divideixen en tres classes:

1) Efectes deterministes.

Ex. Una persona exposada a certs nivells de radiació durant un curt període patirà definitivament ARS (Síndrome d'Irradiació Aguda).

2) Efectes estocàstics.

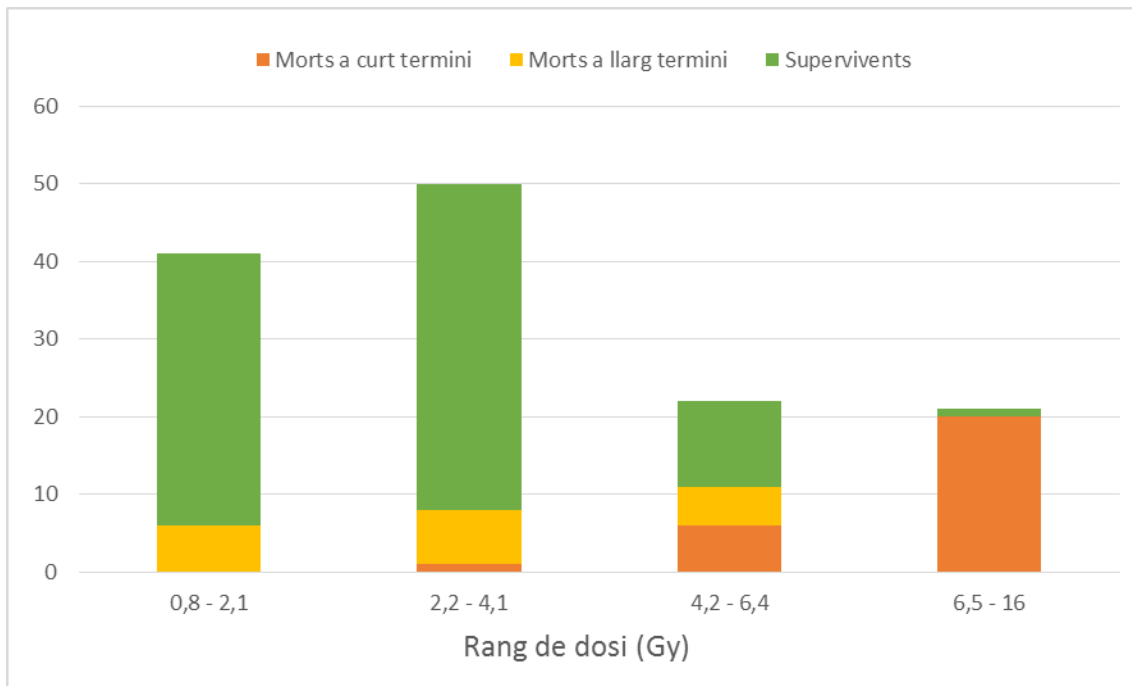
Ex. Una persona exposada a radiació pot patir o no càncer.

3) Efectes psicològics.

Ex. Ansietat, angoixa i canvi d'hàbits com fumar, beure alcohol, canvis en la dieta, etc.

### **Efectes precoços per a la salut**

Un total de 237 treballadors van ser examinats amb símptomes d'ARS. Durant els primers dies es va diagnosticar ARS en 104 d'aquests treballadors i més endavant 30 més. D'aquests 134 pacients, 28 van morir en els primers 4 mesos. 2 treballadors havien mort també, però la causa va ser deguda a lesions no relacionades amb la radiació. Dels 106 supervivents de l'ARS, 19 més van morir entre el 1986 fins al 2006.

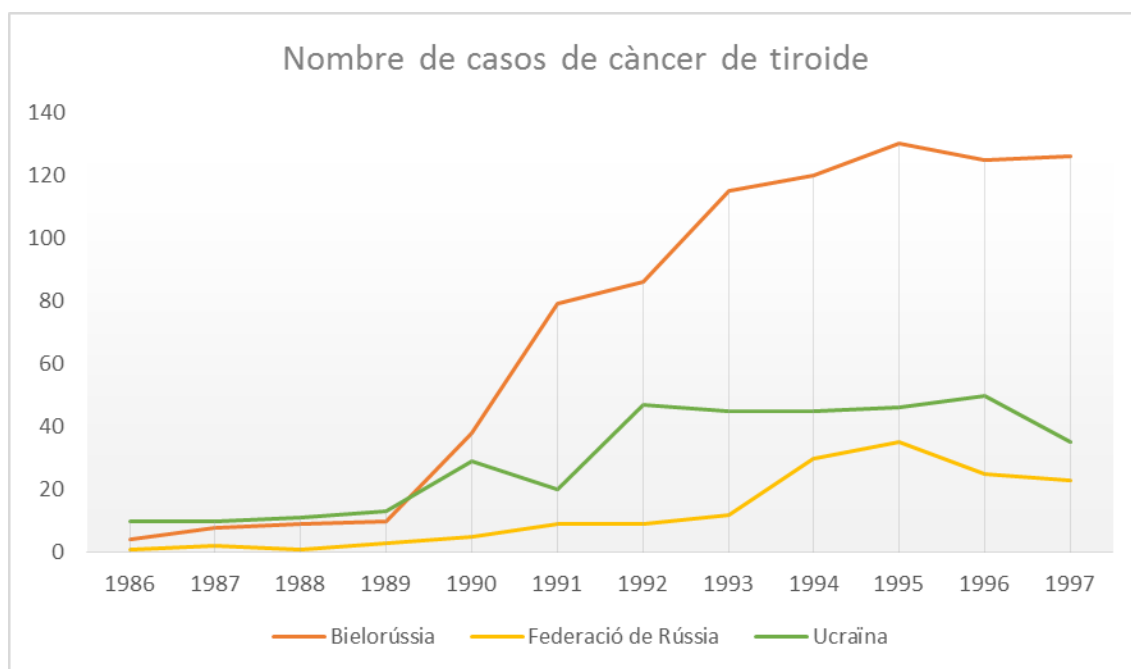


**Fig. 11.** Gràfic sobre el resultat dels pacients amb ARS.

No van haver-hi casos d'ARS entre els evacuats ni els no evacuats. Això es degut a que la radiació a què van estar exposades aquestes persones va ser molt més lleu que la dels treballadors.

### **Efectes tardans per a la salut**

La població de nens i adolescents d'Ucraïna, Bielorússia i Rússia va patir un increment en el nombre de càncer de tiroide. Entre els nens que tenien 14 anys o menys al 1986.



**Fig. 12.** Nombre de casos de càncer de tiroide de nens exposat ala radiació als 14 anys o menys.

Per als que tenien 18 anys en el moment de l'accident es van observar un total de 243 casos entre els anys 1991-1995.

Països	Casos de leucèmia		Casos de càncer	
	<i>Observats</i>	<i>Esperats</i>	<i>Observats</i>	<i>Esperats</i>
<b>Treballadors</b>				
<b>Bielorrússia</b>	9	4,5	102	136
<b>Federació de Rússia</b>	9	8,4	449	405
<b>Ucraïna</b>	28	8	399	329
<b>Residents de les àrees contaminades</b>				
Bielorrússia	281	302	9.682	9.387
Federació de Rússia	340	328	17.260	16.800
Ucraïna	592	562	22.063	22.245

**Fig. 13.** Taula sobre la incidència dels casos de càncer i leucèmia durant 1993-1994.

Per a aquells nens nascuts després de 1986 no va haver-hi cap evidència d'un increment en el nombre de càncer de tiroide.

Les prediccions suggereixen que es poden produir fins a 5 000 morts per càncer addicionals en les poblacions de Bielorússia, la Federació de Rússia i Ucraïna a causa de l'exposició a la radiació. Al voltant del 0,6% de les morts per càncer que s'esperen en aquesta població no seran per excés de radiació.

L'accident de Txernòbil també pot causar càncers a Europa fora de Bielorússia, la Federació de Rússia i Ucraïna. Tanmateix, la dosi mitjana d'aquestes poblacions és molt menor i, per tant, es preveu que l'augment relatiu de les morts per càncer sigui molt menor. Les estimacions previstes són molt incertes i és molt poc probable que es pugui detectar un augment en aquests països utilitzant estadístiques nacionals sobre el càncer.

### 6.3. Taula comparativa

	<b>Txernòbil</b>	<b>Hiroshima</b>
<i>Països afectats</i>	~13	1 (Japó)
<i>Àrea destrossada</i>	Només la ubicació de la central	~12,1 km <sup>2</sup>
<i>Àrea afectada per radioactivitat</i>	2.600 km <sup>2</sup>	4,51 km <sup>2</sup>
<i>Morts immediates</i>	30	70/80.000
<i>Morts atribuïdes al càncer des del moment de l'incident fins al 1950</i>	+50.000	7.578

**Fig. 14.** Taula comparativa entre els efectes dels accidents de Txernòbil i Hiroshima.

## 6.4. Conclusions de la pràctica

La comparació realitzada permet descobrir algunes diferències entre les conseqüències que va tindre la bomba llençada a Hiroshima i l'explosió de la central nuclear a Txernòbil. En aquesta comparativa s'observa els diferents impactes que pot tindre un mal ús de l'energia nuclear.

D'una banda, la bomba que va caure sobre Hiroshima va ser la primera arma nuclear utilitzada en el món. No es sabia quina seria la magnitud de danys que causaria ni que 72 anys després encara es podrien observar algunes seqüeles. D'altra, l'accident nuclear a Txernòbil no va ser el primer en succeir, però sí el que més dany ha causat.

La principal diferència entre aquests dos esdeveniments és que Hiroshima va poder ser habitada després de l'accident, però Txernòbil no. Això es deu a que, en aquest últim lloc, la radiació va ser absorbida també pel sòl i l'aigua del lloc i va fer gairebé impossible la seva ocupació. Actualment només 800 persones habiten Txernòbil mentre que Hiroshima consta amb 1.194 milions d'habitants.

Una altra diferència entre aquests dos esdeveniments és que a Hiroshima no es va dependre tanta radiació com a Txernòbil. L'objectiu del llançament de la bomba era destructiu, no es tenia cap intenció relacionada amb la radioactivitat, es volia provocar el major nombre de morts de la manera més ràpida i això van fer.

A Txernòbil, desgraciadament, es van dependre grans quantitats d'elements radioactius que van produir un gran nombre de morts a curt i sobretot llarg termini.

En un futur encara s'esperen diverses morts degudes als dos incidents. A Hiroshima s'esperen un total de 14.110 morts. D'altra banda, tot i que a Txernòbil no es pot calcular un nombre exacte, ja que la radiació es va estendre per gran part d'Europa, s'esperen un nombre de morts més elevat que al d'Hiroshima. Molts europeus que es troben lluny de Ucraïna, Bielorússia i la Federació de Rússia (països amb l'esperança de vida més baixa) també poden patir les seqüeles de l'accident.

## 7. Possibles solucions a la contaminació radioactiva

### 7.1. Energies renovables

Les energies renovables són fonts d'energia netes, inesgotables i creixentment competitives. Es diferencien dels combustibles fòssils principalment en la seva diversitat, abundància i potencial d'aprofitament arreu del planeta, però sobretot en el fet que no produeixen gasos d'efecte hivernacle (causants del canvi climàtic) ni emissions contaminants. A més, els seus costos evolucionen a la baixa de manera sostinguda, mentre que la tendència general de costos dels combustibles fòssils és l'oposada.

*He realitzat una entrevista sobre el tema a Pepa Mosquera, per veure-la consultar annex II.*

### 7.2. Mesures preventives

- 1) **Emmagatzematge segur:** els residus radioactius s'han d'emmagatzemar en contenidors especialitzats, que no es trenquin fàcilment i que no permetin que es filtri la radiació.
- 2) **Advertències clares:** material radioactiu pot contaminar la roba o la pell d'una persona. Després, a mesura que aquesta persona es mou per l'entorn, poden contaminar altres organismes vius al seu torn. Les advertències clares sobre la presència de material radioactiu evitaran que això passi.
- 3) **Fonts alternatives d'energia:** buscar alternatives a l'energia nuclear reduirà el nombre de centrals nuclears del món i, per tant, reduirà els riscos associats amb el material radioactiu.
- 4) **Desarmament nuclear:** desarmar i eliminar les armes nuclears és una forma molt important d'eliminar els perills associats amb el material radioactiu.

### 7.3. Altres solucions

- Les Centrals Nuclears allunyades de qualsevol centre urbà i amb un radi de 300 quilòmetres.

- Els empleats en les plantes nuclears haurien de rebre una capacitació molt més avançada, pel fet que poden ocasionar accidents radioactius per errors humans.
- Anar amb compte amb la transformació d'energia nuclear a energia elèctrica.

## 8. Energia nuclear versus energies renovables

Per tal de poder comparar amb més exactitud l'energia nuclear amb les renovables m'he centrat només en un tipus de tecnologia renovable: l'eòlica, perquè és la més utilitzada.

	<b>NUCLEAR</b>	<b>EÒLICA</b>	<b>CONCLUSIONS</b>
<b>PREU</b>	4.000 milions € per GW	600 milions € per GW	Amb els 4.000 milions es podrien instal·lar 6,67 GW (més de sis centrals nuclears)
<b>PRODUCCIÓ</b>	Funcionen 8.000 h/any; Produeixen: +8.000 GW/h	Funcionen 2.000 h/any (depenent de la zona geogràfica). Els 6,67 GW produeixen 13.33 GW h/any	L'eòlica produeix més energia elèctrica que la nuclear (que ha costat la mateixa quantitat de diners). En percentatge produeix un 179,62% més
<b>CONTAMINACIÓ</b>	Contaminen	No contaminen	L'energia nuclear contamina l'aire, aigua i sòl que, al seu torn, contaminen éssers vius

**Fig. 15.** Taula comparativa entre l'energia nuclear i l'eòlica.

En quant al seu ús, també hi ha grans diferències, en el mes d'octubre de 2017 les energies renovables representaven un 26,4% de l'estructura total de generació elèctrica mensual peninsular. (*Veure Annex VI*)

## 9. PRÀCTICA 2: Substitució de l'energia nuclear per energies renovables

El principal objectiu a l'hora de realitzar aquesta substitució és evitar un canvi climàtic d'origen antropogènic que sobrepassi els límits del que es pot considerar segur per al conjunt d'habitants i ecosistemes del planeta.

Tanmateix, la situació en la que es troba la Terra actualment no és en absolut neutra respecte a la possibilitat d'experimentar un canvi climàtic; els punts límits ja han estat superats. Ara es troba en un moment en el qual s'ha d'intervenir d'alguna manera per tal de frenar aquest canvi abans de que arribi a un punt de no retorn.

Per idear un nou sistema 100% renovable, m'he basat en les dades proporcionades pels butlletins informatius de la "*Red Eléctrica Española*" dels últims cinc anys per tal de que resultés totalment viable, tenint en compte diferents moments de pujada i baixada de demanda.

### 9.1. Canvis de paradigmes

Al llarg de l'estudi es plantegen diferents canvis de paradigmes (models) als quals és necessari enfrontar-se per tal de trencar les barreres que ens impedeixen evolucionar cap a un sistema energètic sostenible.

Aquests paradigmes són:

a) **Les tecnologies renovables com element principal del sistema elèctric:**

Perquè les tecnologies renovables passin de ser un apèndix del sistema elèctric a ser considerades com a elements principals, hauran de passar d'operar-se en "mode de màxima potència" (sempre que la central és disponible ha d'injectar a la xarxa l'electricitat que produeix) a fer-ho en "mode de regulació" (les centrals han de funcionar segons com ho requereixi la demanda elèctrica).



b) **El paper a exercir per l'electricitat i la gestió de la demanda:**

Per tal d'evitar dissipar una gran quantitat de la capacitat de generació renovable, es podria aprofitar aquesta energia per altres demandes energètiques com les de vehicles o les de calor de baixa temperatura. Això proporcionaria una gran capacitat d'acumulació distribuïda molt útil per a una gestió de la demanda. D'aquesta manera es podria accelerar la conversió cap a la sostenibilitat dels sectors d'edificació i transport, juntament amb l'ús d'altres opcions renovables no elèctriques.

La gestió de la demanda hauria de buscar un desplaçament del consum cap a les hores centrals del dia, que es quan més producció hi ha a les centrals solars.

## 9.2. Mix de generació

Per tal d'arribar al 100% renovable s'utilitza el mix de generació o mix renovable on es combinen diferents tecnologies renovables per tal de cobrir tota la demanda elèctrica. Cal tenir en compte que la majoria de les tecnologies renovables disposen d'una gran capacitat de regulació, és a dir, poden ajustar la seva producció a la demanda en cada moment, i fer-ho de forma més ràpida que les tecnologies convencionals.

Es poden realitzar múltiples combinacions de sistemes de generació renovables per cobrir completament al llarg de l'any la demanda d'electricitat, i fins i tot la d'energia total, tenint en compte:

- La **diversitat tecnològica**, gràcies a la qual el recurs energètic disponible es fa molt regular en el temps. Dotar d'una major diversitat tecnològica al mix de generació permet reduir la potència total a instal·lar i augmentar la seguretat de subministrament.
- Impulsar l'enlairament de la **tecnologia termosolar**, pels seus avantatges únics: elevat potencial, disponibilitat de potència per a puntes de demanda, capacitat d'acumulació energètica diària, lideratge industrial espanyol i contribució al desenvolupament sostenible.
- La necessitat de dissipar una gran quantitat d'energia, per la qual cosa seria convenient integrar el **sistema energètic total** per cobrir tota o part de la resta de demandes energètiques, mitjançant l'electricitat excedent del sistema elèctric renovable.

### 9.3. Anàlisi de la generació elèctrica a Espanya

Pot un sistema basat únicament en renovables cobrir tota la nostra demanda elèctrica? Aquesta és, sens dubte, la qüestió principal a l'hora d'analitzar la viabilitat tècnica d'un sistema basat 100% en energies renovables, comprovar si és possible produir en tot moment tota l'electricitat que es demana.

Per tal de poder respondre a aquesta pregunta és necessari analitzar la generació d'energia de cada tipus de tecnologia renovable. Gràcies als diferents tipus de tecnologia i a les diferents ubicacions dins de la península la generació és molt regular i està disponible en tot moment. (*Veure Annex VII*)

	<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>POTÈNCIA TOTAL INSTAL·LADA</b>	<b>POTÈNCIA TOTAL NUCLEAR</b>	<b>POTÈNCIA TOTAL DE RENOVABLES</b>
<b>2012</b>	251.986 GWh	102.215 MW	7.853 MW	49.403 MW
<b>2013</b>	246.314 GWh	102.308 MW	7.866 MW	50.316 MW
<b>2014</b>	243.395 GWh	102.261 MW	7.866 MW	50.476 MW
<b>2015</b>	247.983 GWh	102.613 MW	7.866 MW	51.329 MW
<b>2016</b>	250.132 GWh	100.088 MW	7.573 MW	50.685 MW
<b>2017</b>	209.501 GWh	99.872 MW	7.590 MW	47.339 MW
<b>MITJANES</b>	<b>241.544 GWh</b>	<b>101.559,5 MW</b>	<b>7.769 MW</b>	<b>49.924,7 MW</b>

**Fig. 16.** Taula sobre la potència i la demanda total a Espanya des de gener del 2012 a octubre de 2017.

Tot i que el conjunt de la potència total instal·lada de renovables és més gran que la de la nuclear. Amb 7.769 MW (*veure Annex VIII*) la nuclear és capaç de produir mensualment 4.318 GWh, mentre que totes les tecnologies renovables juntes produeixen mensualment 5.376 GWh. Llavors, al idear el nou mix de generació s'ha de tenir en compte que per tal de produir tota l'energia produïda per les nuclears es necessitarien 40.099,5 MW.

Un mix de generació 100% renovable serà viable si cobreix tota la demanda energètica, és a dir, si és capaç d'administrar **241.544 GWh**. Per tal de que el sistema sigui capaç d'aportar tanta energia, és necessari que hi hagi una potència total instal·lada de renovables de **2.243.119,743 MW**.

Actualment, parlant només de renovables, Espanya consta amb un total de **47.339 MW** de potència total instal·lada, però no tots els tipus de tecnologies renovables tenen la mateixa potència.

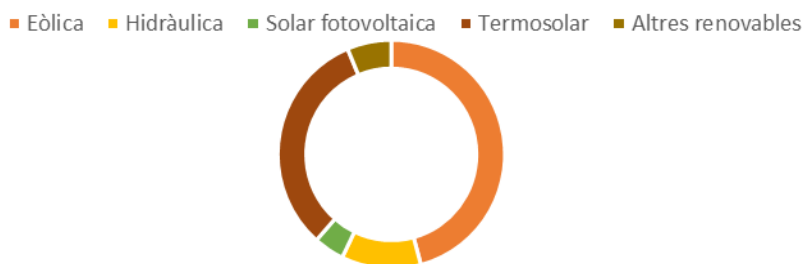
	<i>Potència total instal·lada (MW)</i>	<i>Energia elèctrica generada mensualment (GWh)</i>
<i>Eòlica</i>	22.870,688	3.112
<i>Hidràulica</i>	16.978,24	885
<i>Solar fotovoltaica</i>	4.394,368	636
<i>Termosolar</i>	2.297,056	423
<i>Altres renovables<sup>2</sup></i>	699,104	320

**Fig. 17.** Taula sobre la potència total instal·lada i l'energia elèctrica generada pels diferents tipus de tecnologies renovables a l'octubre de 2017.

Com es pot observar, l'energia renovable eòlica és la que té més potència, és a dir, la més generadora d'electricitat.

#### 9.4. Sistema 100% renovable

Com ja he dit abans, hi ha moltes combinacions possibles capaces de substituir a les tecnologies no renovables. Tots seguit es mostra un possible mix capaç de cobrir tota la demanda elèctrica, tenint en compte l'enlairament de la tecnologia termosolar.



**Fig. 18.** Gràfic sobre un possible mix que cobreixi tota la demanda energètica.

<sup>2</sup> Altres renovables són d'onades (mareomotriu), biomassa i geotèrmica.

	<b>% EN MIX</b>	<b>POTÈNCIA TOTAL INSTAL·LADA (MW)</b>
<b>Eòlica</b>	45,8	1.027.348,823
<b>Hidràulica</b>	11,34	254.369,774
<b>Solar fotovoltaica</b>	4,36	97.800,1892
<b>Termosolar</b>	32,2	722.284,5434
<b>Altres renovables</b>	6,3	141.316,5411
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>2.243.119,7 MW</b>

**Fig. 19.**Taula sobre les potències del mix ideat.

Per tal d'obtenir millors resultats és necessari distribuir les centrals renovables en diferents ubicacions de la península. La diversitat de tecnologies afavoreix a que la demanda pugui cobrir-se en qualsevol moment de l'any.

### **9.5. Canvis que implica un sistema 100% renovable**

Resulta senzill idear un sistema d'aquest tipus, la part complicada es troba a l'hora de posar-lo en pràctica.

Està clar que un mix de generació implica molts canvis i no es poden fer tots a l'hora. Aquest és un procés que porta molt de temps. Totes les centrals no renovables han de ser tancades i s'han de construir nous aerogeneradors, panels solar i altres emplaçaments per tal de poder cobrir la demanda energètica total.

A més de ser un procés costós, implica que molts espais naturals es vegin alterats per la nova distribució d'aquestes tecnologies. Aquestes no representen cap amenaça al medi ambient, però requereixen de molt espai per ser instal·lades. Per aquest motiu, també és una bona alternativa l'energia fotovoltaica integrada, ja que al formar part dels edificis no necessita tant espai com les altres.

## 10. CONCLUSIONS

Un cop realitzada la pràctica número 2 es pot veure que la hipòtesis plantejada és certa. És viable plantejar-se un sistema de generació basat al 100% en energies renovables per a la cobertura de la demanda elèctrica. Aquest fet implica que:

- a) La substitució d'energia nuclear per renovables és possible.
- b) El nombre d'accidents nuclears seria inexistent, el procés d'extracció d'urani seria eliminat i els residus nuclears tampoc existirien. Per tant hi hauria:
- c) Una gran reducció en els nivells de radioactivitat, a més també d'una reducció en altres tipus de contaminació com l'aire, el sòl i l'aigua, cosa que aturaria el canvi climàtic.

Els resultats d'aquest treball demostren que fer un canvi és possible. La posta en pràctica d'aquest sistema podria arribar a ser un fet transcendental en la vida del planeta Terra ja que les energies renovables són energies inesgotables, al contrari que l'energia nuclear (o altres) amb recursos finits i difícils d'adquirir. Les renovables s'adapten als cicles naturals i són un element essencial en un sistema energètic sostenible per permetre el desenvolupament present sense posar en risc el de les futures generacions.

Està clar que aquest sistema aportaria molts beneficis a la població. Tanmateix, l'amenaça de perill de radioactivitat en persones i medi ambient seguirà estant sempre present mentre continuïn havent països amb disposició d'armament nuclear i es continuïn fent proves amb explosius d'aquest tipus.

Per tal d'arribar a aquesta conclusió he seguit els objectius prèviament plantejats, encara que alguns d'ells van variar a mesura que el treball avançava, al igual que la hipòtesis. En un principi, em vaig plantejar la hipòtesis següent: *Com es poden prevenir o solucionar els efectes de la contaminació radioactiva?* Aquesta no és tant diferent a l'actual, però el principal fet que em va empenyer a canviar-la va ser que em vaig anar enfocant cada cop més en el tema d'energies renovables i això va fer que, la solució que volia idear, estigués relacionada amb aquestes.

Pel que fa als mètodes utilitzats per obtenir la informació desitjada també van variar. Al començament, em vaig proposar fer una enquesta per tal d'esbrinar si la població és conscient d'aquest tipus de contaminació. Més endavant, el meu treball va agafar una altra direcció i l'enquesta, com altres mètodes plantejats, va perdre importància i es va fer innecessària. Tot i així, va haver-hi un apartat en la meua metodologia que no vaig poder complir malgrat la meua persistència. En aquest, volia visitar una central nuclear activa per tal de poder veure les instal·lacions, entendre el seu funcionament i entrevistar a un treballador. Desgraciadament no ho vaig poder realitzar degut a que les centrals amb les que vaig parlar, Ascó i Vandellòs, em van respondre que no estaven obertes al públic. De totes maneres, vaig poder realitzar una entrevista a una treballadora d'una central així que, en part, he complert amb una part de la metodologia proposada.

### **10.1. Limitacions del treball**

Un cop finalitzat tot el treball cal saber valorar les limitacions d'aquest. Evidentment, l'ideal hagués estat haver pogut demostrar, d'alguna manera, que el sistema ideat posat en pràctica era totalment viable. Però, com resulta clar, és molt improbable que això succeeixi i si ho fes, no es podrien extreure conclusions d'aquest ja que aquestes resultarien precipitades, s'hauria de realitzar un estudi de diversos anys per tal d'obtenir resultats fiables.

També cal saber fer autocrítica i reconèixer els propis errors comesos o possibles millores. La manca de coneixement envers el nombre total de tecnologies renovables a Espanya fa més complicada la ideació d'un nou sistema 100% renovable. Això és degut a que si la potència necessària per tal de cobrir la demanda és de 2.243.119,7 MW no és possible saber quin nombre d'emplaçaments caldria construir per tal de poder arribar a aquesta xifra. Per tant, si això no es sap, tampoc es sabrà quin serà el cost d'aquest canvi de sistema, si és un preu assequible pel país ni quant es trigaria a realitzar-ho. De totes maneres, el fet de que les energies renovables poden substituir a la nuclear s'ha confirmat, i això significa que encara estem a temps d'aturar el canvi climàtic.

Si hagués de continuar el meu treball, m'agradaria poder estudiar com és el sistema elèctric que s'utilitza en alguns països amb més del 95% de l'energia generada provinent de renovables. Investigar quin tipus de renovables són utilitzades i per què no s'ha distribuït aquesta idea de sistema per tot el món serien els meus principals objectius.

## **11. Valoració personal**

Aquest treball m'ha servit per adquirir nous coneixements sobre la contaminació radioactiva i els sistemes d'energia elèctrica.

Crec que la ideació d'un sistema 100% renovable ha estat molt profitosa intel·lectualment ja que m'ha obligat a qüestionar-me fets que abans no coneixia i m'ha ofert una nova vista del món que ens rodeja.

Amb aquest treball s'ha intentat proposar una solució a un problema present que podria causar grans danys al futur. Tot i que la idea proposada sembli una completa utopia, el cert és que molts països ja es beneficien de sistemes semblants a aquest. Espanya té les característiques ideals per ser un país amigable amb el medi ambient, però la realitat és que no es fa res per aconseguir-ho.

Tenim la solució a les nostres mans, només cal posar-la en pràctica i fer d'aquest món un lloc millor.

## 12. BIBLIOGRAFIA

### a) Llibres

**ALEXIÉVICH, Svetlana.** *Voces de Chernóbil*. Suècia, 1<sup>a</sup> edició: Penguin Random House Grupo Editorial, 2015.

**MONSON, Richard [et al.].** *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2*. Estats Units, 1<sup>a</sup> edició: The National Academies Press, 2006.

**United Nations.** *Sources, effects and risks of ionizing radiation*. Nova York, 1<sup>a</sup> edició: United Nations, 2017.

**YABLOKOV, Alexey [et al.].** *Chernobyl. Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*. Estats Units, 1<sup>a</sup> edició: Blackwell Publishing, 2009.

### b) Pàgines web

**BIRCH, Martin.** *Inspiration* [en línia]. <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/tipos-de-contaminacion/contaminacion-radioactiva> (Consulta: 28 maig 2017)

*Canadian Nuclear Association.* [en línia]. <https://cna.ca/issues-policy/radiation/quantifying-radiation/> (Consulta: 21 juliol 2017)

*Chernobyl Assessment of Radiological and Health Impacts* [en línia]. <http://www.oecd-neo.org/rp/pubs/2003/3508-chernobyl.pdf> (Consulta: 25 novembre 2017)

*Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts* [en línia]. <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf> (Consulta: 23 juny 2017)



*Earth eclipse* [en línia]. <https://www.eartheclipse.com/pollution/different-types-of-pollution.html> (Consulta: 25 abril 2017)

*Energia nuclear* [en línia]. <https://ca.energia-nuclear.net/que-es-l-energia-nuclear> (Consulta: 13 agost 2017)

*Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience* [en línia]. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf) (Consulta: 16 juny 2017)

*Eólica 2017* [en línia]. [https://www.aeeolica.org/uploads/AEE\\_ANUARIO\\_17\\_web.pdf](https://www.aeeolica.org/uploads/AEE_ANUARIO_17_web.pdf) (Consulta: 22 juny 2017)

*Las enrgías renovables en el sistema eléctrico español 2016* [en línia]. [http://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2016-v3.pdf](http://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2016-v3.pdf) (Consulta: 02 desembre 2017)

**MONTÓN, Raquel.** *Greenpeace España.* [en línia]. <http://www.greenpeace.org/espana/es/Blog/la-contaminacin-radiactiva-mata/blog/58938/>. (Consulta: 15 abril 2017)

*Red Eléctrica de España* [en línia]. <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/boletines-mensuales> (Consulta: 22 octubre 2017)

**SCHULL, William.** *National Center for Biotechnology Information* [en línia]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC33859/> (Consulta: 13 agost 2017)

*Nuclear Energy Agency* [en línia]. <http://www.oecd-nea.org/general/practical/> (Consulta: 30 maig 2017)

### c) Publicacions periòdiques

**GOLDSMITH, E..** “Chernobyl: The End of Nuclear Power?”, *The Economist*, 1986.

**JIMÉNEZ, S.** “¿Por qué Hiroshima y Nagasaki están habitadas y Chernóbil no?”, *BBC*, 2015.

**MADRIDEJOS, Antonio.** “Los progresos de España con las emisiones de  $CO_2$  se diluyen”, *El Periódico*, 2017.

**SWANSON, Ana.** “What it would look like if the Hiroshima bomb hit your city”, *The Washington Post*, 2015.

# **ANNEXOS**

## **ANNEX I:**

### **Entrevista a Leticia Fontán**

**Entrevistada:** Leticia Fontán, treballadora del Fòrum de la Indústria Nuclear Espanyola és una associació de caràcter civil creada el 1962.

#### **1. Com es genera energia a la central nuclear?**

L'energia nuclear prové de la divisió dels àtoms d'urani, un procés anomenat fissió. Això genera calor per produir vapor, que és utilitzat per un generador de turbina per generar electricitat. Com que les centrals nuclears no cremen combustible, no produeixen emissions de gasos d'efecte hivernacle. A excepció del propi reactor, una central nuclear funciona com la majoria de les centrals de carbó o de gas.

#### **2. Són segures les centrals nuclears?**

Multiplicant el nombre de reactors nuclears amb el temps que estan operatius, porten gairebé 20.000 anys de funcionament. Si traiem Txernòbil, el nombre d'accidents amb alliberaments de productes radioactius al medi que ho hagin fet en quantitats apreciables és inexistent. Podria haver-hi alliberament de productes radioactius? Sí, però en quantitats molt petites. Com va succeir a Ascó. No obstant això, l'impacte radiològic per a la població és menyspreable.

Afortunadament, la radioactivitat es detecta d'una manera molt senzilla. I quantitats mínimes les veiem amb nitidesa. Això pot portar a pensar que és una cosa negativa, però no és cert. En la pròpia naturalesa hi ha radioactivitat. A les capes altes de l'atmosfera s'està formant permanentment.

#### **3. Creus que l'accident a Txernòbil ha provocat desconfiança en la població envers aquest tipus d'energia?**

Les organitzacions antinuclears sempre tracten de vincular aquesta energia amb les explosions nuclears. El de Txernòbil va ser un fet importantíssim que va suposar una aturada important en el desenvolupament de l'energia nuclear. Així,

amb qualsevol incident, aquestes organitzacions tracten de vincular-lo per posar a la societat en contra d'aquesta solució. Però a Txernòbil van ser poc curosos realitzant experiments en planta. Van fer coses que no s'han de fer, coses que en el món occidental estan prohibits.

#### **4. Les instal·lacions nuclears estan evolucionant en seguretat i generació elèctrica?**

En aquests moments hi ha molts dissenys. Hi ha fins i tot el que s'anomena la «generació quatre», centrals innovadores que no tenen a veure molt amb les actuals. Així i tot, des de Txernòbil, no hi ha una gran innovació perquè no s'està invertint gairebé res. Els que posen els diners no ho volen fer en coses que no són viables, ja que el rebuig social és alt. Aquest és un fre que caldrà alliberar.

#### **5. Les centrals nuclears contaminen?**

Sí, encara que a nivells ínfims si no es produeix cap accident. Els abocaments de les centrals es produeixen en forma gasosa per la xemeneia, a través de grans cabals d'aire amb petites quantitats de radioactivitat.

#### **6. Quins residus es produeixen a les centrals? On van a parar?**

Hi ha tres tipus de residus: els d'alta activitat, formats pels elements de combustible gastat; de mitjana activitat, radionúclids produïts en el procés de fissió; i de baixa activitat, fonamentalment robes, eines i altres estris contaminats en el manteniment de la central.

Els de baixa i mitja activitat s'emmagatzemen al Centre d'Emmagatzematge del Cabril, Còrdova, gestionat per ENRESA, una companya creada per gestionar tots els residus radioactius generats a Espanya.

Els residus d'alta activitat s'emmagatzemen de forma segura en piscines de les pròpies centrals nuclears. Actualment, ENRESA està treballant en la creació d'un Magatzem Temporal Centralitzat on guardar, de manera provisional i segura, els residus radioactius d'alta activitat.

#### **7. Fins quan creus que es continuarà utilitzant energia nuclear a Espanya?**

Si s'opera bé, les centrals són ens que estan sempre renovant-se. Permanentment es fan millores que deixen les instal·lacions gairebé noves. Hi ha centrals dels

EUA amb permís per operar durant seixanta anys. Amb tota seguretat, s'allargarà la vida útil de les centrals espanyoles. Poden funcionar fins a un segle. Però això suposa també un manteniment continu.

**8. Què opines sobre les energies renovables? Creus que acabaran substituïnt a les centrals nuclear?**

Avui dia, Espanya està fent ús d'aquests tipus d'energia. Personalment, penso que està bé utilitzar-les com a apèndixs del sistema, però, encara que actualment l'energia nuclear hagi perdut prestigi, no crec que arribi un moment en el que siguin substituïdes totalment per les renovables, la nuclear serà sempre necessària ja que les renovables no són capaces de generar tanta energia i depenen absolutament de factors externs

## **ANNEX II:**

### **Entrevista a Pepa Mosquera**

**Entrevistada:** Pepa Mosquera, directora de l'equip "Energías Renovables", equip format per periodistes i professionals de la comunicació.

#### **1. Per a què s'utilitzen les energies renovables?**

Les energies renovables tenen la mateixa finalitat que les energies fòssils i la nuclear: aportar-nos l'energia que necessitem per realitzar les nostres activitats, ja sigui en forma d'electricitat, de climatització (calor i fred) o de transport. Amb l'avantatge de que són infinitament menys contaminants.

#### **2. Quin tipus d'energia renovable és més eficaç?**

No crec que hi hagi una energia renovable més eficaç que una altra. Tot depèn dels recursos que hi hagi en cada lloc. Si, per exemple, el que abunda en una zona és el vent, és probable que el més eficaç, en tots els sentits (sostenibilitat ambiental, econòmica, generació de riquesa...) sigui utilitzar turbines eòliques. Però, pel general, l'idoni és combinar varies d'elles ja que las energies renovables es complementen entre sí.

#### **3. Quines fonts d'energies renovables existeixen? ¿Quines es consumeixen més?**

Tenim l'energia eòlica; les energies solars (fotovoltaica y termosolar per generar electricitat, tèrmica de baixa i mitjana temperatura per processos de climatització); la bioenergia (energia de la biomassa, biogàs, biocarburants); la geotèrmica (d'alta temperatura, per generar electricitat, o de baixa, per climatització); l'energia hidràulica (mini y micro); les energies del mar (marees, onades, gradient tèrmic, corrents); i l'aerotècnia (aprofitar la temperatura exterior per la climatització). Com veus, hi ha moltes.

#### **4. Són rentables les energies renovables?**

Hi ha tecnologies renovables molt desenvolupades, com l'eòlica i la solar fotovoltaica, o la solar tèrmica, que són plenament competitives i rentables. De

fet, en molts llocs del globus ja és més barat utilitzar aquests recursos energètics que recórrer als tradicionals. A més, si es tinguessin en compte els costos reals que paguem per les convencionals –com la despesa en transport, la contaminació a generar al llarg del seu cicle de vida, etc. pràcticament totes les tecnologies renovables serien ja més barates.

**5. Es troben a l'abast de tothom, o només dels països més desenvolupats?**

Les renovables estan a l'abast de tot el món, no són per a res un privilegi de països rics. De fet, en els països en desenvolupament són les que més s'estan instal·lant, sobretot la fotovoltaica, ja que es tracta tecnologies més barates i ràpides d'implementar. A més, en la majoria d'aquests països està molt poc desenvolupada la xarxa elèctrica, però les renovables no necessiten d'aquesta. Generen electricitat de manera local.

**6. ¿Per què hem d'utilitzar energies renovables? ¿Creu que estem a temps de fer front al canvi climàtic?**

Devem utilitzar-les per pur sentit comú, però fa falta que el seu cost sigui assumible per tal de poder començar utilitzar-les de forma massiva. Això ja s'ha aconseguit. Tant és així, que el 2016 la tecnologia que més es va instal·lar en el món va ser la solar fotovoltaica. Tornant a lo del sentit comú, les renovables són molt més democràtiques que les convencionals: no hi ha cap zona del món que no tingui algun recurs renovable que no es pugui utilitzar. D'aquesta manera, s'aconsegueix que l'energia pugui deixar d'estar només a les mans de poderoses companyies energètiques que imposen les seves regles sense importar res més que les seves guanys. A més, generen riquesa allà on s'implementen, al crear nous llocs de treball i oportunitats de desenvolupament. També ens permeten, a escala de país, reduir la despesa en importacions, que en el cas d'Espanya és altíssim. I, òbviament, són el millor recurs que tenim, juntament amb l'eficiència energètica, per frenar l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. En quant si estem a temps de fer front al canvi climàtic... el millor és prendre les mesures ja. El retard en prendre-les fa molt més difícil aturar el seu avanç i que resulti impossible evitar que l'increment de temperatura superi un llindar francament perillós.



**7. ¿Presenten alguna amenaza contra el medi ambient?**

L'impacto zero no existeix. Qualsevol activitat humana té un impacte sobre el medi. Lo bo és que l'impacte de les renovables és mínim comparat amb el de les energies fòssils i la nuclear. Però sempre hem de tenir cura i vigilar que durant los processos de fabricació dels elements que componen els aerogeneradors, o els panels fotovoltaics (per exemple) es generi la mínima quantitat de residus, que les materials de que estiguin fets siguin reutilitzables al finalitzar el seu cycle de vida, que al construir aquestes instal·lacions es generi el mínim dany sobre el medi natural, etc.

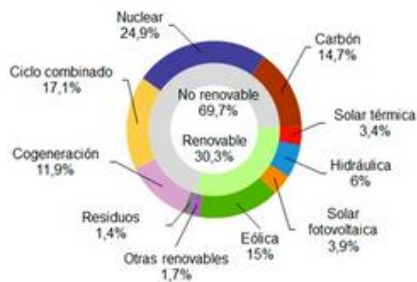
**8. ¿Quin és el país (o països) que millor creu que ho estan fent en matèria de renovables i dels que creu que hauríem de prendre exemple i per què?**

Si parlem d'Europa, la meva referència són Dinamarca y Alemanya. En aquests països els seus governants han comprès que les renovables no només són necessàries per fer front al canvi climàtic sinó que estan generant molts ingressos al país. Per exemple, en forma d'exportació de tecnologia. A Dinamarca y Alemanya existeix, a més, una autèntica consciència medi ambiental per part d'una amplia majoria dels ciutadans i, fins i tot, les companyies elèctriques han entès que es millor caminar per aquesta via que intentar posar-li fre. Però hi ha molts altres països que estan apostant amb força per les renovables, tant en Àsia com en com en Llatinoamèrica o Àfrica.

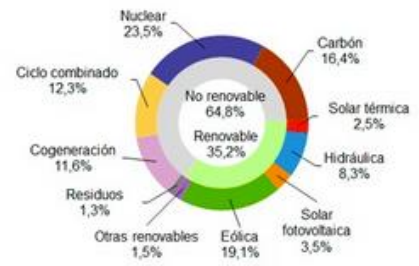
**9. ¿Quines energies renovables s'utilitzen a Espanya? ¿Quin percentatge de l'energia que utilitzem prové d'aquestes?**

A Espanya utilitzem, sobretot, energia eòlica i solar. El passat mes de setembre, el 30,3% dels quilovats hora que va consumir Espanya va provenir de parcs eòlics, petites hortes solars, grans camps fotovoltaics, centrals hidroelèctriques, termosolars, etc. REE publica periòdicament aquestes dades, t'adjunto dos gràfics per que vegis la distribució de la generació.

Generación del mes de septiembre del 2017



Generación de enero a septiembre del 2017



**10. ¿Es posible que en algun moment el 100% de l'energia que utilitzem provingui de este tipus de fonts?**

No tinguis el menor dubte, però tot porta el seu temps. Pretendre ara mateix que sigui així seria il·lusori ja que encara no esta suficientment desenvolupada una de les tecnologies clau per aconseguir-lo: les bateries d'acumulació. Quan aquesta tecnologia estigui plenament desenvolupada i sigui barata, serà molt més fàcil avançar en aquesta direcció. Lo bo és que segons els pronòstics que fan els experts de molts organismes internacionals, falten pocs anys per aconseguir aquesta competitivitat per part dels sistemes d'acumulació.

En qualsevol cas, aconseguir aquest 100% amb renovables no vol dir que no puguem deixar de moment tecnologies convencionals de suport; és a dir, per utilitzar-les en cas de que durant un període prolongat no hagi un sol raig de sol, vent, o que el mar estigui en calma i no poguéssim generar l'energia que necessitem amb aquests recursos.

**11. Utilitza vostè algun tipus d'energia renovable? Si és així, com funciona?**

Tota la electricitat que consumeixo a casa es 100% renovable. Com en la meva habitatge no podia posar panells solars FV, la compro a una comercialitzadora d'electricitat verda. També em moc tot el que puc en bici elèctrica. Però, lògicament, m'agradaria anar més lluny. Estic en això.

## **ANNEX III:**

### **Glossari**

**Antropogènic:** Accions humanes que influeixen en el medi ambient, és a dir, canvi suscitat en un entorn gràcies a la intervenció o el treball de mans humanes, és diferent a les alteracions provocada per la pròpia naturalesa.

**Bateries d'acumulació:** Element principal dels sistemes solars fotovoltaics de petita potència. Transforma l'energia elèctrica que es genera en els panells solars i l'acumula en forma d'energia química. Després realitza el procés invers per tal de que pugui ser utilitzada pels equips consumidors.

**Biogàs:** Gas combustible que es genera en mitjans naturals o en dispositius específics, com a conseqüència de les reaccions de biodegradació de la matèria orgànica, mitjançant l'acció de microorganismes i altres factors, en absència d'oxigen (ambient anaeròbic). Aquest gas constitueix una font d'energia renovable i es pot utilitzar per produir energia elèctrica.

**Biomassa:** Material orgànic no fòssil d'origen biològic que constitueix una font d'energia renovable.

**Cogeneració:** Procés mitjançant el qual s'obté simultàniament energia elèctrica i energia tèrmica i/o mecànica útil.

**Desertificació:** Degradació de la terra en regions àrides, semiàrides i subhúmedes seques, resultant de diversos factors, fins i tot variacions climàtiques i activitats humanes.

**Efectes deterministes:** Efectes en que l'atzar no està involucrat.

**Efectes estocàstics:** Aquell la probabilitat de què aparegui augmenta amb la dosi de la radiació però la gravetat és la mateixa (no depèn de la dosi).

**Energia calorífica:** Manifestació de l'energia en forma de calor.

**Energia eòlica:** L'energia eòlica és l'energia obtinguda del vent. És un dels recursos energètics més antics explotats per l'ésser humà i és, a dia d'avui, l'energia més madura i eficient de totes les energies renovables.

**Energia hidràulica:** L'energia hidràulica es basa en aprofitar la caiguda de l'aigua des de certa altura per produir energia elèctrica. Actualment, l'ús de l'energia hidràulica té un dels seus millors exponents: l'energia mini hidràulica, de baix impacte ambiental.

**Energia geotèrmica:** L'energia geotèrmica és una font d'energia renovable que aprofita la calor natural de l'interior de la Terra que es transmet a través dels cossos de roques calentes o reservoris per conducció i convecció es susciten processos d'interacció de fluïts i roques.

**Energia solar fotovoltaica:** L'energia solar fotovoltaica consisteix en la transformació directa de la radiació solar en energia elèctrica.

**Energia mareomotriu:** El moviment de les mareas i els corrents marins són capaços de generar energia elèctrica d'una manera neta. Si parlem concretament de l'energia produïda per les ones, estariem produint energia ones. Un altre tipus d'energia que aprofita l'energia tèrmica de la mar basat en la diferència de temperatures entre la superfície i les aigües profundes es coneix com mareotèrmica.

**Energia termosolar:** L'energia solar tèrmica consisteix en l'aprofitament de l'energia procedent del Sol per transferir-la a un mitjà portador de calor, generalment aigua o aire.

**Fissió nuclear:** Separació d'un nucli pesat en nuclis més petits.

**Fusió nuclear:** Combinació de nuclis lleugers per crear-ne un més gran i pesat.

**Gestió de la demanda:** Es diu gestió de la demanda al conjunt de mesures amb l'objectiu de modificar la forma en què es consumeix l'energia, sigui estalviant una

determinada quantitat d'energia o desplaçant el seu consum a un altre moment. Inclou mesures normatives, incentius, informació al consumidor, senyals de preu, etc.

**Mutació:** Alteració o variació en el codi genètic; és a dir, una alteració dels gens dels cromosomes.

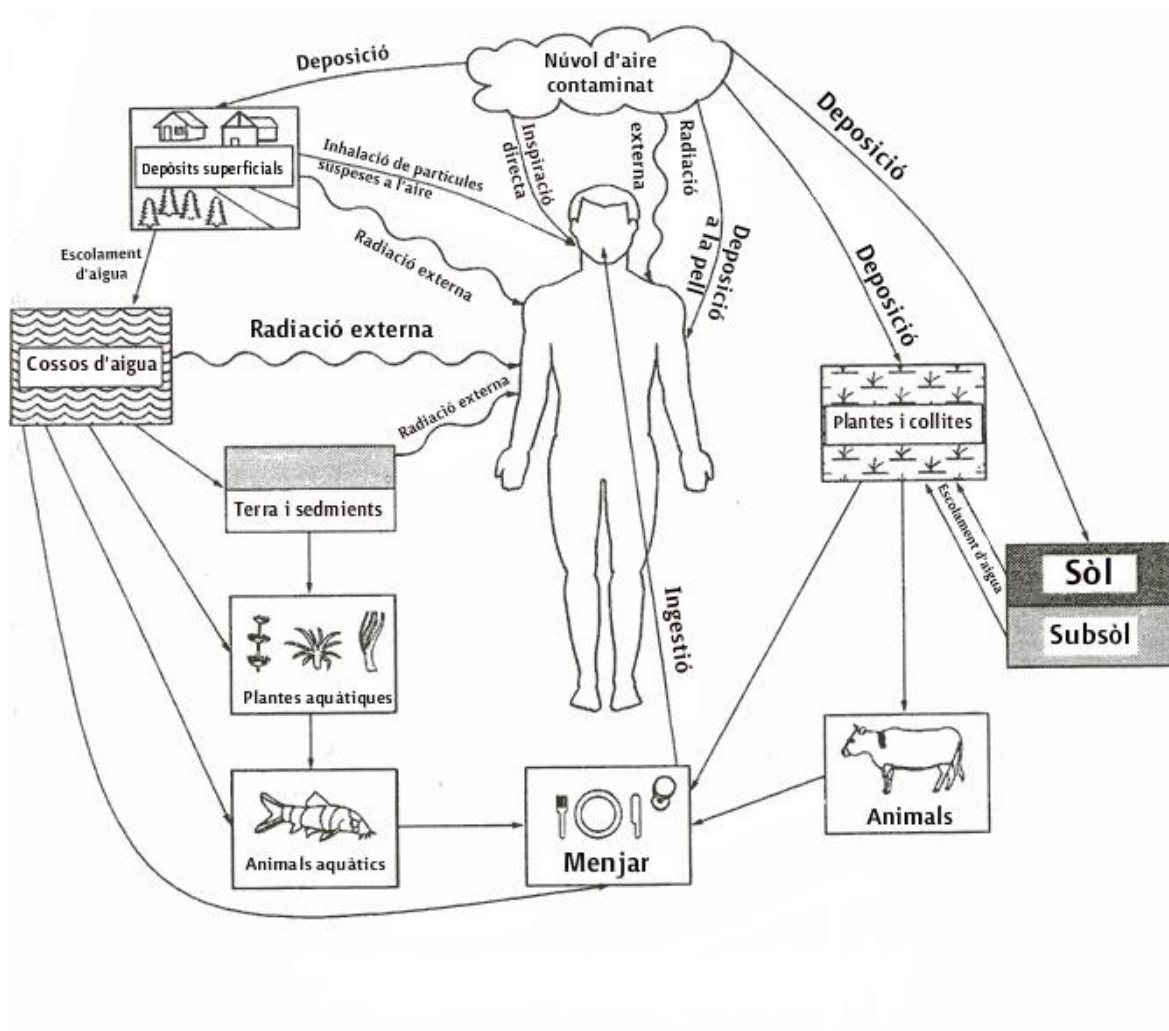
**Potència instal·lada:** Capacitat d'energia que pot generar i entregar una central elèctrica en condicions ideals.

**Radiació:** Emissió d'energia o de partícules que produeixen alguns cossos i que es propaga a través de l'espai.

**Residus:** Materials combustibles resultants d'un producte o subproducte de deixalles que, al ser processats, produeixen energia per propòsits com calefacció i generació d'energia elèctrica.

## ANNEX IV:

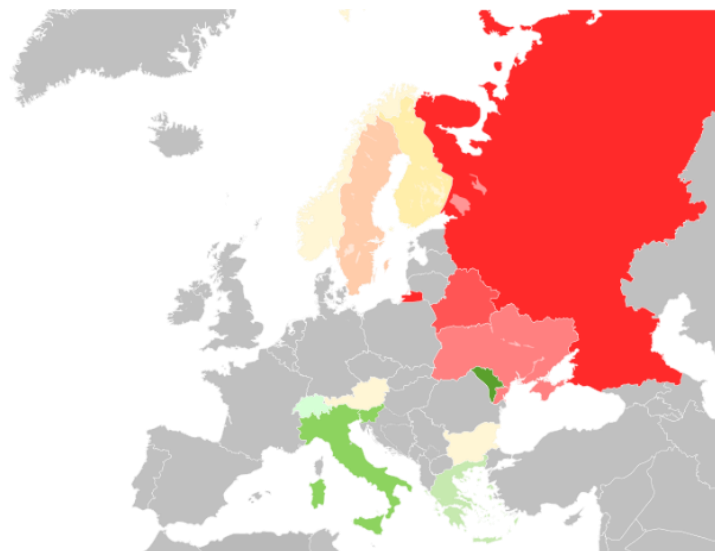
### Esquema sobre com arriba la radiació a les persones



Esquema extret d'un informe tècnic de l'Organisme Internacional d'Energia Atòmica.

## ANNEX V:

### Mapa i taula amb les àrees d'Europa contaminades amb cesi-137

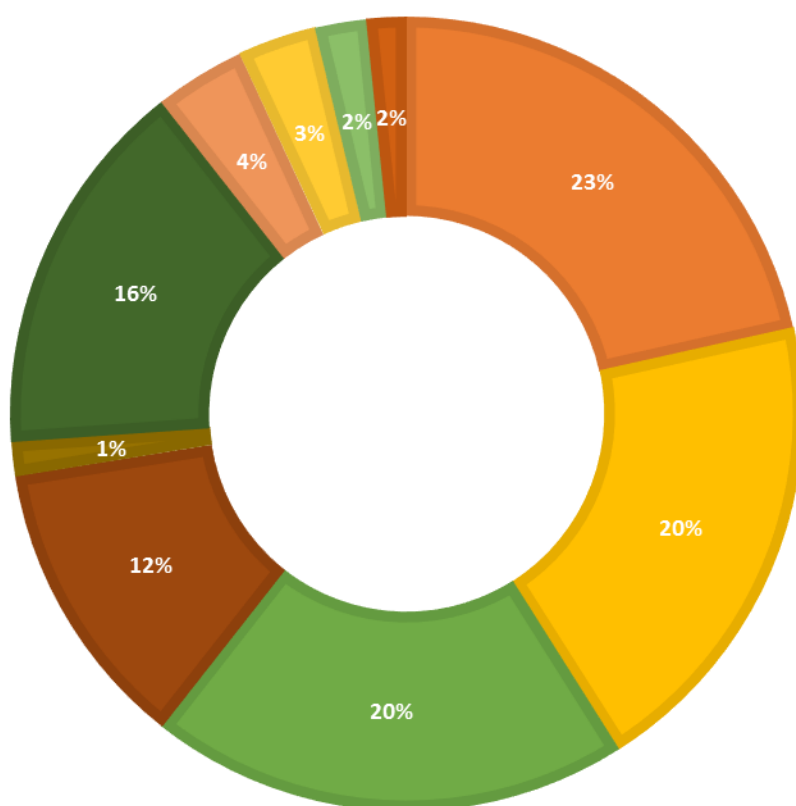


<b>País</b>	<b>37-185 m2</b>	<b>185-555 m2</b>	<b>555-1480 m2</b>	<b>+1480 m2</b>
Rússia	49 800 kBq	5700 kBq	3000 kBq	2100 kBq
Bielorússia	29 900 kBq	10 200 kBq	4200 kBq	2200 kBq
Ucraïna	37 200 kBq	3200 kBq	900 kBq	600 kBq
Suècia	12 000 kBq	-	-	-
Finlàndia	11 500 kBq	-	-	-
Àustria	8600 kBq	-	-	-
Noruega	5200 kBq	-	-	-
Bulgària	4800 kBq	-	-	-
Suïça	1300 kBq	-	-	-
Grècia	1200 kBq	-	-	-
Eslovènia	300 kBq	-	-	-
Itàlia	300 kBq	-	-	-
Moldàvia	60 kBq	-	-	-

## ANNEX VI:

**Gràfic amb el percentatge d'energia elèctrica generada per les diferents tecnologies a Espanya (península) el mes d'octubre de 2017**

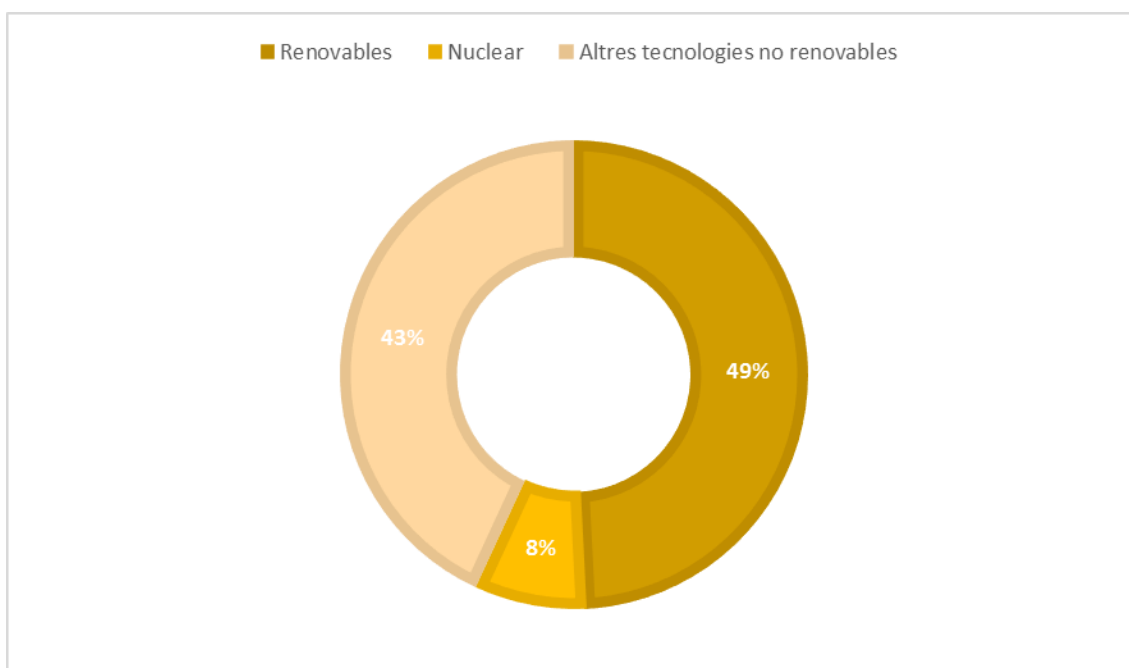
■ Nuclear      ■ Carbó      ■ Cicle combinat      ■ Cogeneració      ■ Residus  
■ Eòlica      ■ Hidràulica      ■ Solar fotovoltaica      ■ Solar tèrmica      ■ Altres renovables





## ANNEX VII:

**Gràfic sobre la potència total instal·lada a Espanya des de gener de 2012 fins a octubre de 2017**



## **ANNEX VIII:**

### **Taula sobre les centrals nuclears a Espanya**

<b>Central</b>	<b>Emplaçament</b>	<b>Potència elèctrica (MW)</b>	<b>Tipus</b>	<b>Any d'entrada a servei</b>
Sta. Maria Garonya	V. Tobalina, Burgos	466.00	BWR	1971
Almaraz I	Almaraz, Càceres	1035.30	PWR	1981
Ascó I	Ascó, Tarragona	1032.50	PWR	1983
Almaraz II	Almaraz, Càceres	1045.00	PWR	1983
Cofrents	Cofrents, València	1092.02	BWR	1984
Ascó II	Ascó, Tarragona	1027.21	PWR	1985
Vandellós II	Vandellós, Tarragona	1087.14	PWR	1987
Trillo	Trillo, Guadalajara	1066.00	PWR	1988