

Radioactivitat: El cas de Fukushima

2a Versió



Publicacions CRECIM
Col·lecció REVIR 2016
2a Versió 2019



“Radioactivitat: El cas de Fukushima”, unitat didàctica per a l’estudi de la radioactivitat.

Creada per Digna Couso, Josep Olivella i Lluïsa Herreras.

Maquetació i revisió: Maria Navarro i Maria Dalmases.

2a Versió: Caterina Solé i Maria Navarro

Es distribueix sota una llicència Creative Commons

Atribució-NoComercial-SenseDerivar 4.0 Internacional

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

totes les imatges utilitzades són pròpies o d’ús lliure

Citar com:

Couso, D., Olivella, J., Herreras, Ll., Solé, C. i Navarro, M. (2019). *Radioactivitat: El cas Fukushima. Seqüència didàctica per a l’estudi de la radioactivitat*. Barcelona: Publicacions CRECIM. 2a versió.

El projecte REVIR és un projecte del CRECIM, amb el suport de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Indicacions per al professorat

Objectius didàctics de la seqüència

En aquesta seqüència es busca que l'alumnat de 2n de Batxillerat entengui quin és el comportament d'un procés radioactiu.

La seqüència s'inicia preguntant als alumnes quant temps creuen que tardarà en desaparèixer la radioactivitat a Fukushima (Japó) després de l'accident nuclear que va tenir lloc el març del 2011. Davant d'un accident nuclear com el que va tenir lloc, una de les primeres preocupacions és evitar la fuga d'isòtops radioactius i, en cas de que n'hi hagi hagut alguna, determinar el grau de contaminació radioactiva per evitar riscos a la població. En el cas de Fukushima es van detectar nivells de radiació molt elevats deguts a la desintegració Cs-137. A partir dels coneixements adquirits durant el taller, l'alumnat hauria de ser capaç de determinar quant de temps ha de passar per poder viure a la zona afectada de Fukushima sense perill per la salut.

En la primera part, l'alumnat hauria de ser capaç d'identificar com és l'evolució de la radiació emesa en funció del temps. Els estudiants analitzaran, a partir d'unes dades reals d'una mostra de Cesi, com varia el seu ritme de desintegració al llarg del temps. A continuació, hauran de trobar una equació matemàtica que s'ajusti al conjunt de dades donat i que, per tant, ajudi a predir l'evolució de la radioactivitat en funció del temps (lleis de la desintegració radioactiva).

Per analitzar millor aquest fenomen, s'utilitzarà una mostra de daus com a model analògic que, amb els seus límits, permet reproduir aquest procés. Com a eina per entendre el model, s'estudiaran les lleis que regeixen els successos aleatoris i, això, permetrà als estudiants comparar el model analògic de daus amb el fenomen real de la radioactivitat.

En la segona part es pretén que l'alumnat compregui en què consisteix el fenomen radioactiu a escala sub-microscòpica i s'introdueix la idea de que existeixen diferents tipus de descomposició radioactiva.

Finalment es demana als alumnes que responguin al repte que se'ls ha plantejat a l'inici sobre el temps que trigaran els habitants de Fukushima a poder tornar a les seves llars.

Material, muntatge experimental i eines digitals que es fan servir

El material necessari per aquesta seqüència és:

- Una caixa de daus (uns 150-200).
- Un full de càlcul estil Excel o Calc (open office).

També seran necessàries dues simulacions Phet Colorado que es poden trobar als enllaços següents:

- <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/beta-decay>
- <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/alpha-decay>



Estructura de la seqüència

La seqüència té una durada total de 4h i es divideix en 2 parts principals amb una durada de 3 hores la primera part i 1 hora la segona:

Introducció: Plantejament del problema o repte

1. Fukushima

Primera part: Estudi del comportament exponencial de la radioactivitat, definició quantitativa i recerca de l'equació per explicar el comportament temporal.

2. Explorem el comportament de la radioactivitat
3. Els daus, un model per entendre la descomposició radioactiva?
4. Treballem amb el model
5. Anàlisis dels paràmetres de les equacions
6. Els daus són un bon model?

Segona part: Exploració del fenomen de la radioactivitat.

7. Explorem la radioactivitat

Conclusió: Resolució del repte plantejat a l'inici del taller.

8. El futur a Fukushima

1. Fukushima

11 de març de 2011
Accident nuclear a Fukushima

LAVANGUARDIA | Hemeroteca



Davant d'un accident nuclear com el que va tenir lloc el mes de març de 2011 a Fukushima (Japó), una de les primeres preocupacions és evitar la fuga d'isòtops radioactius. En cas de que hi hagi hagut alguna fuga, com va passar a Fukushima, cal determinar el grau de contaminació radioactiva per evitar riscos a la població. Si els nivells de radioactivitat són massa elevats, cal evacuar a la població i portar-la a una zona lliure de radioactivitat.

L'objectiu d'aquest taller és donar resposta a la següent pregunta: Quant de temps ha de passar per tal que els habitants de Fukushima puguin tornar a casa seva?

Completa al teu dossier:



1.a. Què creus que és la radioactivitat? És un fenomen que pot ocórrer naturalment?

1b. Penseu que podran tornar a casa seva? Com pot ser que puguin tornar? On anirà a parar la radioactivitat que hi havia a la zona?

2. Explorem el comportament de la radioactivitat

Un grup de treballadors de la central de Fukushima utilitza un detector calibrat de manera adequada per a conèixer el grau de contaminació radioactiva, obtenint una taula com la següent:



Fig1. Detector Geiger de radioactivitat

Temps (s)	Comptes
60	1535
150	1025
240	678
330	484
420	283
510	238
600	139
690	103
780	88
870	45

El Geiger mesura la Radioactivitat i ho fa transformant-la en corrent elèctric. L'instrument se l'anomena "comptador" perquè cada partícula o fotó de radiació que passa per ell produeix un impuls elèctric idèntic i això permet comptar-los, però no ens diu res sobre la seva identitat o la seva energia.

Completa al teu dossier:



2.a. Representa les dades amb l'ajuda d'un full de càlcul tot agafant l'opció de gràfic de dispersió de punts sense línies.

2.b. A la vista dels punts obtinguts quina serà la línia de tendència que creus que s'ajusta millor? (Estadísticament la línia de tendència que s'ajusta millor és aquella que té el paràmetre R^2 més proper a la unitat).

2.c. Amb ajuda del programa estudia altres possibles línies de tendència que puguin ajustar millor els punts obtinguts. Escriu l'equació que has triat amb les variables més adients.

Equació1 →

2.d. De les línies de tendència amb un valor de R^2 més alt, argumenta des d'un punt de vista físic, perquè unes són possibles i altres no.

2.e. Creieu que podem dir alguna cosa del comportament de la radioactivitat a partir d'aquest ajust? Com pot ser que cada vegada tinguem menys comptes?

Què diu la ciència?



Fig. 2. Fotografies de la Marie Curie i l'Ernest Rutherford.

El fenomen de la radioactivitat va ser descobert per H. Becquerel l'any 1896 i va ser el tema que va escollir Marie Skłodowska per a fer la seva tesi doctoral. L'any 1894 va conèixer a Pierre Curie que arribaria a ser el seu espòs i, en casar-se, va adoptar el seu cognom, esdevenint Marie Curie. Els treballs experimentals de Marie i Pierre Curie, així com el d'altres científics com E. Rutherford i F. Soddy mostraven que el corrent elèctric mesurat per un detector seguia una llei exponencial.

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

on I és el corrent degut a les radiacions ionitzants després d'un cert temps t i I_0 és el corrent inicial. Aquest corrent és proporcional al nombre de radiacions ionitzants que arriben al detector i per tant proporcional al nombre d'àtoms radioactius presents. Així, Rutherford escrivia a l'any 1902 la següent equació:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

on N representa el nombre d'àtoms radioactius presents en un cert instant de temps t i N_0 el nombre d'àtoms radioactius presents a l'instant inicial.

Els treballs de Curie, Rutherford i altres explicaven els fets experimentals observats sobre el fenomen de la radioactivitat, però en cap moment donaven una explicació del seu origen. Caldria esperar fins als anys 20 del segle passat per poder estudiar amb més profunditat el fenomen radioactiu amb l'arribada de la Mecànica Quàntica. Aquesta teoria posa de relleu, entre d'altres aspectes, el caràcter aleatori dels processos que tenen lloc a nivell atòmic.

La desintegració radioactiva d'un isòtop és un **procés aleatori** que, com tots els processos d'aquesta tipologia, compleix tres propietats bàsiques:

1. Es coneixen prèviament els possibles resultats de l'experiment.
2. És impossible la predicció del resultat de l'experiment, abans de realitzar-lo.
3. En successives realitzacions de l'experiment, amb les mateixes condicions inicials poden aparèixer diferents resultats.

En el cas de la radioactivitat, cal afegir un altre aspecte. El fet de que un isòtop es desintegri o no, no afecta als seus veïns. Es parla en aquest cas d'un **esdeveniment aleatori independent**.

No es pot saber a priori quin isòtop es desintegrarà ni quan ho farà, però sí que es pot predir el comportament d'un nombre molt elevat d'isòtops radioactius, comportament que ve determinat per una llei estadística exponencial

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

on N representa el nombre d'àtoms radioactius presents en un cert instant de temps t i N_0 el nombre d'àtoms radioactius presents a l'instant inicial.

3. Els daus, un model per entendre la desintegració radioactiva?

En ciència, sovint s'utilitzen models per interpretar un fenomen físic. Llançar daus pot ser un possible model per estudiar el nostre fenomen. Per veure si és un bon model cal comprovar si els criteris d'aquest són els mateixos que els del fenomen que hem d'estudiar.

Considera el llançament d'un conjunt de daus.



Completa al teu dossier:



3.a. Fixa't en un dels daus.

3.a.1. Quan el llancem, quins són els possibles resultats que pots obtenir?

3.a.2. Pots predir quin serà el resultat abans de llançar-lo?

3.a.3. Sortirà la mateixa cara a cada tirada?

3.a.4. El resultat de llançar un dau afecta als possibles resultats de la resta de daus?

3.c. Completa la taula següent que et permet comparar les normes que regeixen el llançament dels daus i el fenomen de desintegració radioactiva.

	Què passa en el model?	Què representa a la realitat?
Quins són els possibles resultats?	{1,2,3,4,5,6}	
Coneixem el resultat que sortirà?		
Si repetim l'experiment, obtindrem el mateix resultat?		
El resultat obtingut afecta a la resta de la mostra?		

3.d. A partir de les dades de la taula de la qüestió anterior, es pot dir que la tirada d'uns daus permet simular el fenomen de la desintegració radioactiva? Justifica la resposta.

3.e. A més a més d'aleatori independent, al fenomen de la radioactivitat quan un àtom és desintegra i passa a ser estable ja no es pot tornar a desintegrar. Hauríem d'assegurar-nos que el nostre model de daus també pot representar això. Què hauríem de fer amb els daus per a simular aquesta característica?

4. Treballem amb el model

Cada grup d'alumnes disposareu d'un conjunt de daus que simularan la mostra radioactiva. Cada grup tirareu els daus. Uns grups comptaran el nombre d'asos que han sortit i els altres grups comptaran el nombre de daus amb 1 o un 2. Cada grup retirarà els daus corresponents per simular que els àtoms s'han desintegrat. Repetiu aquest procés fins que no quedi cap dau i utilitzeu un full de càlcul per recollir les dades que anireu obtenint amb els apartats N° de tirada, N° de daus que hi ha, N° asos/nombres parells que han sortit.

Completa al teu dossier:



4.a. Representa al full de càlcul la gràfica del n° de daus que hi ha abans de cada tirada en funció del n° de tirades, fent servir un gràfic de dispersió sense línies.

4.b. Ajusta els punts que heu obtingut amb la línia de tendència que trobeu més adient. Escriu l'equació del gràfic que has triat i el paràmetre estadístic R^2 que obtens utilitzant el n° de daus i el nombre de tirades com a variables.

Equació 2 →

4.c. Quines semblances i quines diferències trobes entre aquest gràfic i el que has obtingut a partir de les dades del fenomen real (*Equació 1*)?

4.d. Els grups que només heu comptat asos, creieu que hauríeu obtingut un resultat semblant si haguéssiu comptat el nombre de dosos? Els grups que heu comptat dos números, creieu que hauríeu obtingut un resultat semblant si haguéssiu comptat el nombre de números senars?

4.f. Uns grups han simulat la desintegració radioactiva comptant només els asos, mentre que altres grups ho feien comptant dos números. Què creieu que esteu simulant amb aquesta modificació respecte la radioactivitat?

5. Anàlisi dels paràmetres de les equacions

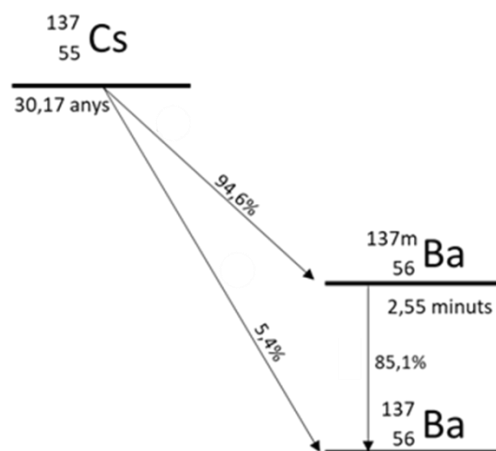
Per estudiar l'evolució amb el temps d'una mostra radioactiva els científics es fixen en el temps que tarda aquesta mostra en reduir les seves partícules radioactives a la meitat. Aquest temps s'anomena **període de semidesintegració** ($T_{1/2}$) i es mesura en unitats de temps.

Completa al teu dossier:



5.a. En el nostre model de daus, quin significat té el període de semidesintegració?

A la figura següent es pot veure que el període de semidesintegració del Ba-137m és de 2.55 minuts. La mateixa figura mostra que es pot obtenir Ba -137 estable a partir del Ba-137-m, però també a partir de la desintegració del Cs-137.



Completa al teu dossier:



5.b. Si ens fixem en un àtom de Cs137 o en un de Ba137m, quin “viurà” més temps?

5.c. Quin dels dos àtoms és més probable que es desintegri?

5.d. Quina relació penses que hi ha entre la “vida” d’un àtom i la probabilitat que aquest es desintegri?

5.e. Tenint en compte que el temps de semidesintegració del Cs és de 30.17 anys, creus que als 60.32 anys s’hauran desintegrat tots els àtoms? Perquè?

Què diu la ciència?

Es defineix la **constant radioactiva** λ d’una substància com la probabilitat de desintegració per unitat de temps. Es mesura en s^{-1} al S.I. Aquesta constant λ és el coeficient que multiplica al temps en la funció exponencial.

Matemàticament es pot demostrar que la relació entre el període de semidesintegració, $T_{1/2}$, i la constant radioactiva, λ ve donada per

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Completa al teu dossier:



5.f. Quina és la probabilitat de treure un as/dos números? Compara aquest valor amb el que has obtingut a la pregunta 4b.

5.g. Quina és la constant radioactiva del Ba-137m? I la del Cs-137? Comenta aquests valors.

6. Els daus són un bon model?

Completa al teu dossier:



6.a. Com que λ és característica de cada substància radioactiva, no depèn de la quantitat de mostra. I al model, depèn de la quantitat?

6.b. Agafeu una mostra petita de daus (5 daus) i trobeu el valor de λ .

6.c. A partir dels resultats que acabeu d'obtenir pels valors de λ de les mostres de daus, quina limitació creus que té utilitzar el model de daus per a interpretar el fenomen de desintegració radioactiva?

7. Explorem la radioactivitat

Per a entendre què és la radioactivitat i què mesurem exactament quan utilitzem un sensor Geiger, treballarem amb unes simulacions virtuals.

Obre la simulació següent: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/beta-decay>. Clica damunt la opció **SINGLE ATOM** i observa què li passa a l'àtom de ^3H . Prova amb diversos àtoms (reset).

Completa al teu dossier:



7.a. L'Hidrogen el trobem majoritàriament com a ^2H , però en aquesta simulació treballeu amb ^3H . Quina diferència hi ha entre aquests dos àtoms a nivell nuclear?

7.b. Quan la transformació d'un àtom d' ^3H té lloc, què observes que s'allibera?

7.c. Aquesta transformació produeix un canvi en el nucli dels àtoms d' ^3H . En què canvia? Per què es produeixen àtoms d' ^3He ?

7.d. A cada nou àtom que utilitzes en la simulació, li passa en el mateix moment la transformació?

Ara clica a **MULTIPLE ATOMS** i a la **cistella** d'àtoms d'Hidrogen i afegeix 40 àtoms. Observa de nou el que els passa als àtoms al llarg del temps i al gràfic circular amb la proporció d'àtoms ^2H i ^3H .

Completa al teu dossier:



7.e. Cada vegada que iniciu la simulació, els àtoms que es transformen són diferents i el temps que triguen a fer-ho també. Canvia la $T_{1/2}$ d'una vegada a la següent? Per què?

Obre aquesta altra simulació: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/alpha-decay>.
Clica sobre la cistella de Poloni i afegeix 40 àtoms. Ara observa el que els passa a aquests àtoms al llarg del temps. Per observar-ho amb deteniment, podeu utilitzar el botó per **pausar**.

Completa al teu dossier:



7.h. Què significa el número 211 que acompanya el Poloni, o el 207 que acompanya el Plom?

7.i. Què els passa als àtoms de ^{211}Po a mesura que avança el temps? Els passa a tots els àtoms a la vegada? Recorda que pots pausar la simulació per a veure-ho millor.

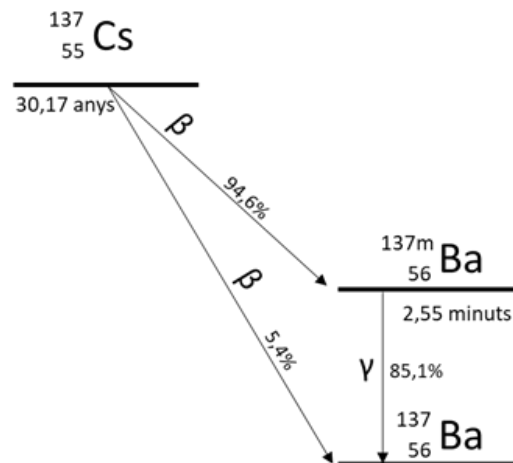
7.j. Quan la transformació d'un àtom de ^{211}Po té lloc, què observes que s'allibera? Pots ajudar-te mirant la pestanya "Single atom".

8. El futur a Fukushima

Un dels isòtops que l'Agència Internacional de l'energia atòmica (IAEA) controla amb més atenció en el desastre de Fukushima és el Cs-137, ja que aquest es pot incorporar fàcilment a la cadena alimentària.



Fig. 3. Imatge del desastre que va succeir a Fukushima.



Completa al teu dossier:



8.a. A dia d'avui, en quin percentatge ha disminuït el nombre de comptes mesurat per un detector de la desintegració del Cs137 al voltant de la central nuclear de Fukushima?

8.b. Per motius de seguretat es podria considerar que els habitants de Fukushima podrien tornar a casa seva quan el nombre de comptes mesurats pel detector es redueixi a la desena part. Quant de temps haurà de passar per a que el nombre de comptes mesurats pel detector es redueixi a la desena part?

