

# **LES CENTRALS NUCLEARS SÍ EMETEN CO2**

## **UNA APROXIMACIÓ A LES EMISSIONS DE CO2 DEL CICLE DE FUNCIONAMENT NUCLEAR A PARTIR DE L'ANÀLISI D'ASCÓ2.**

**versió 1**

**Tanquem les Nuclears –  
Coordinadora per una Nova Cultura de l'Energia.**

**<http://www.tanquemlesnuclears.org/>**

**[tln-nce@pangea.org](mailto:tln-nce@pangea.org)**

**Agost 2008**

## **LES CENTRALS NUCLEARS SÍ EMETEN CO2**

### **UNA APROXIMACIÓ A LES EMISSIONS DE CO2 DEL CICLE DE FUNCIONAMENT NUCLEAR A PARTIR DE L'ANÀLISI D'ASCÓ2.**

#### **Sumari.**

#### RESUM

1.- Presentació.

2.- Premisses.

3.- Procediment i metodologia.

#### 4.- EMISSIONS DEL CICLE DEL TRANSPORT

4.1.- Els valors d'emissió dels sistemes de transport.

4.2.- La determinació de la cadena de transport.

4.3.- Minería.

4.3.1.- Rússia – Springfields:

4.3.2.- Austràlia – Springfields.

4.3.3.- Níger – Springfields.

4.3.4.- Resultats de l'anàlisi de l'etapa de minería.

4.4.- Combustible: Etapa Springfields - Juzbado

4.5.- Combustible: Etapa Juzbado – Ascó.

4.6.- Trasllat dels residus de mitja i baixa activitat d'Ascó a El Cabril (Córdoba).

4.7.- Conclusió de les emissions del cicle de transports.

#### 5.- EMISSIONS DEL CICLE DE PRODUCCIÓ DE MATERIALS

5.1.- QÜESTIONS PRÈVIES: LA RIQUESA DEL MINERAL D'URANI, LA SEVA DURESA, EL PROCÉS D'ENRIQUIMENT I ELS COMBUSTIBLES QUE ES FACIN SERVIR DETERMINARAN L'ENERGIA EMPRADA I LES EMISSIONS DE CO2.

#### 5.2.- METODOLOGIA D'ANÀLISI DEL CAS IDEAL D'ASCÓ2

#### 5.3. – UNA APLICACIÓ DE LES DADES D'ERDA 76 – 1 AL CAS D'ASCÓ 2

5.3.1.- Mines.

5.3.2.- Triturat del material i concentració a U3O8.

5.3.3.- Planta de conversió (transformació del U3O8 en UF6).

5.3.4.- Planta d'enriquiment (transformació de l'UF6 genèric en UF6 enriquit).

5.3.5.- Fabricació del combustible (transformació del UF6 en UO2).

#### 5.4.- EMISSIONS DE JUZBADO

5.5.- Conclusions del cicle de fabricació del combustible.

5.6.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB LA RIQUESA DEL MINERAL.

5.7.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB EL PROCEDIMENT D'ENRIQUIMENT

5.8.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB EL TIPUS DE GENERACIÓ ELÈCTRICA.

6.- EL CONSUM ENERGÈTIC DE LA PRÒPIA CENTRAL NUCLEAR D'ASCÓ 2

7.- LES EMISSIONS DE CO2 DE LA CENTRAL NUCLEAR D'ASCÓ 2.

8.- BIBLIOGRAFIA

9.- ANNEXES

ANNEX 1.- Quina és la veritable producció energètica d'una càrrega de combustible nuclear?

A.- Càlcul a partir de les dades de la producció elèctrica d'Ascó 2 segons UNESA

B.- Càlcul a partir de les indicacions de Westinghouse (empresa fabricant del combustible).

C.- Càlcul a partir de les indicacions del Foro Nuclear (l'auto - anomenat "Foro de la industria nuclear española").

D.- Càlcul inútil, que demostra fins a quin punt els grups de pressió pro-nuclears ofereixen una informació poc rigorosa.

ANNEX 2.- Comparativa de materials entre els càlculs del WISE i l'animació que publica el diari "El País".

ANNEX 3.- Variables de consum i generació de CO2 en funció de la riquesa del mineral.

ANNEX 4.- Variables de consum i generació en funció de l'enriquiment i del gas-oil com a combustible per fabricar l'electricitat que es fa servir en tot el procés. Comparativa total.

## **LES CENTRALS NUCLEARS SÍ EMETEN CO<sub>2</sub>. UNA APROXIMACIÓ A LES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DEL CICLE DE FUNCIONAMENT NUCLEAR A PARTIR DE L'ANÀLISI D'ASCÓ 2.**

**RESUM:** Les centrals nuclears no poden funcionar sense un combustible, l'urani, que és bastant escàs a la Terra i molt dispers; només amb això es demostra la falsedat de la campanya dels sectors favorables a l'energia nuclear presentant-la com a "lliure de CO<sub>2</sub>", o com que "no provoca gasos que incrementin l'efecte hivernacle". Forçosament s'ha d'emetre CO<sub>2</sub> i altres gasos per obtenir el combustible nuclear.

Aquest treball analitza un cicle complet de funcionament de la central d'Ascó 2 (Tarragona), partint de l'energia generada per una càrrega completa de combustible nuclear (75 tones), i calcula les emissions de CO<sub>2</sub> que resulten de la fabricació del combustible, dels transports implicats, del funcionament de la pròpia central i del transport dels residus de mitja i baixa activitat al cementiri nuclear de El Cabril. Tot el que és necessari per a que Ascó 2 pugui funcionar.

Així, en la hipòtesi més favorable, es calcula que el cicle de funcionament d'Ascó 2, entre els anys 2001 i 2005, va emetre un mínim de **457.995,56** tones de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera. Però si es tenen en compte diverses variables la quantitat s'incrementa molt; amb un combustible fabricat amb electricitat generada amb gas-oil, serien **525.696,56** tones de CO<sub>2</sub>. Si l'urani provingués d'un mineral amb una riquesa del 0,1% (mines de Rússia o Austràlia) les emissions serien de **693.760,13** tones (**778.284,01** si s'utilitza electricitat de tèrmiques de gas-oil en la fabricació). Si provingués de un mineral del 0,068% de riquesa (mines de Namíbia), emetria **873.792,88** tones (**971.162,92**, fabricat amb electricitat de gas-oil). I, finalment, si el mineral tingués una riquesa del 0,057% (mines del Kazastán), emetria **984.467,78** tones de CO<sub>2</sub>, que augmentarien a **1.089.734,98** si s'obté amb electricitat produïda amb tèrmiques de gas-oil.

Un altre aspecte que incrementa les emissions són les tècniques de centrifugat o de difusió en l'enriquiment del combustible, L'anàlisi parteix d'un combustible enriquit per centrifugat; en el cas de fer servir difusió caldria afegir un mínim de **250.000** tones més de CO<sub>2</sub> a cada variable anterior, i unes **125.000** tones més si en aquest enriquiment per difusió es fes servir electricitat de tèrmiques de gas-oil.

D'altra banda, considerar l'emissió de CO<sub>2</sub> per unitat d'energia implica saber exactament quina és la quantitat d'energia generada per una càrrega completa de combustible. De les fonts consultades s'obtenen resultats tan diferents com 37.563,78 GWh, 33.039,5 GWh, o 29.500 GWh. El que farien variar les emissions entre un mínim de 12,2 Kg per MWh i un màxim de

36,9 quilograms per MWh (arribant als 45 i 49 quilograms per MWh, en cas de fer servir tècniques d'enriquiment per difusió amb electricitat generada amb gas-oil).

Tot l'anàlisi s'ha desenvolupat en base a dades d'accés públic via internet, el que ha obligat a suplir carències d'informació amb les dades més baixes disponibles.

Aquestes dades, i els problemes ambientals relacionats amb el funcionament de les nuclears, demostren la mentida d'una energia nuclear "ecològica", com cínicament intenten presentar-la els seus defensors; així com l'absurd de prendre la Taxa de Retorn Energètic com a únic referent per avaluar qualsevol tecnologia de generació d'electricitat. Malgrat tot, els motius de fons de rebuig a l'energia nuclear són independents de la seva contribució al canvi climàtic: la contaminació radioactiva en el seu funcionament "normal", els problemes de seguretat, i els residus radioactius d'alta activitat que hipotequen el futur són les que exigeixen que l'era nuclear arribi a la seva fi.

## 1.- Presentació.

La preocupació pels efectes del canvi climàtic, i la certesa de que l'era dels combustibles fòssils barats toca a la seva fi, han estat aprofitades pels defensors de les centrals nuclears. A les fal·làcies habituals de la seva propaganda (les nuclears són segures, econòmiques i proporcionen un subministrament elèctric fiable) s'hi han afegit dues més: l'energia nuclear és necessària per afrontar el declivi en el subministrament de combustibles fòssils, i no emet gasos d'efecte hivernacle com el CO<sub>2</sub> (el principal responsable del canvi climàtic). En aquest darrer cas la propaganda s'ha fet aclaparadora, pràcticament no hi ha article d'opinió, missatge, declaració o pàgina web del "lobby" nuclear que no insisteixi en aquesta idea: que l'energia nuclear és "neta" i és "part de la solució" en la lluita contra el canvi climàtic.

Donat el rebuig social de l'energia nuclear, es tracta d'una campanya de canvi de mentalitat en tota regla. Basada en la premissa de que la repetició continuada d'una idea falsa pot arribar a esdevenir una veritat acceptada. Com a part de la seva propaganda, una preocupació interessada sobre les dificultats d'Espanya per complir amb els objectius marcats en el Protocol de Kioto s'ha desfermat entre els sectors pro nuclears en els darrers dos anys; arribant a publicar detallats anàlisis del problema<sup>1</sup>.

Ja que les altes temperatures que fan funcionar una central nuclear no s'originen en un procés de combustió, la indústria intenta fer creure a la societat que aquesta energia no emet CO<sub>2</sub> ni altres gasos d'efecte hivernacle. Però basta conèixer mínimament el cicle de funcionament d'un reactor nuclear per deduir, sense cap dificultat, que la teòrica "absència de CO<sub>2</sub> i gasos contaminants" no existeix. Per exemple, el reportatge gràfic "¿La energía nuclear no produce CO<sub>2</sub>?", disponible en la web de Crisis Energética <sup>2</sup>, deixa en evidència la vinculació entre energia nuclear, consum d'energia fòssil i emissions de CO<sub>2</sub> sense arribar a fer els càlculs.

L'emissió de CO<sub>2</sub> és mínima en el funcionament final d'un reactor nuclear, però aquest funcionament depèn d'una infraestructura industrial que n'hi ha al darrera, molt concentrada en propietat i molt dispersa territorialment. Les nuclears funcionen amb un combustible, l'urani, que no és gaire abundant a la Terra, el que implica exploracions, explotacions mineres, grans instal·lacions industrials per fabricar-lo i llargs viatges entre cada etapa del cicle de fabricació: un seguit d'activitats fortament emissores de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>1</sup> A destacar el monogràfic "Energía Nuclear y cambio climático" editat pel Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española, disponible en <http://www.foronuclear.org/>

<sup>2</sup> <http://www.crisisenergetica.org/staticpages/index.php?page=20060706093434314>), és la traducció de l'article original de David Kimble: " Does nuclear energy produce no CO<sub>2</sub>?" en [http://www.peakoil.org.au/does\\_nuclear\\_energy\\_produce\\_no\\_co2.ppt](http://www.peakoil.org.au/does_nuclear_energy_produce_no_co2.ppt), la pàgina web d'ASPO, l'Associació per a l'Estudi del Peak -Oil.

Tan sols 6 països del món (Canadà, Austràlia, Kazajstà, Rússia, Namíbia i Níger) disposen del 84% de les reserves mineres d'urani, i el 78% del total de les reserves pertany només a 7 companyies. Cal transportar l'urani des de les mines fins als pocs països amb capacitat industrial per fabricar el combustible: el 99% del concentrat es fabrica en 12 països. Només existeixen 6 complexos industrials d'enriquiment a tot el món, i tan sols 4 companyies fan el 92% del procés d'enriquiment. Finalment, cal portar el combustible a les 439 centrals nuclears disperses per Europa, Àsia, Àfrica i Amèrica. Totes aquestes mines, indústries i transports fan servir combustibles fòssils que emeten grans quantitats de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera. I sabent que sense tot això les centrals nuclears mai no podrien funcionar resta la pregunta: A on és la tan proclamada "absència de CO<sub>2</sub> i gasos contaminants"?

Un cop comprovat que l'energia nuclear sí que emet CO<sub>2</sub>, la qüestió és saber-ne **quant**. La intensitat i la reiteració de la campanya de les "nuclears que no emeten CO<sub>2</sub>"<sup>3</sup> fa necessària una investigació per obtenir-ne xifres. Aquesta és la necessitat, una altra cosa són els materials disponibles per satisfer-la.

Malgrat els centenars de pàgines web, i els milers de documents del "lobby" nuclear, resulta molt difícil obtenir-ne dades exactes. La reiteració del discurs propagandístic està en raó inversa al rigor i la qualitat de la informació proporcionada. Tot queda en imatges amables, animacions de gran qualitat visual, gràfiques genèriques, afirmacions contundents i molt de discurs tecnològicament complex. Però xifres contrastades i detallades sobre els materials i l'energia implicats en cada etapa del cicle nuclear n'hi ha molt poques. Molta propaganda i poca informació: per això en determinades etapes d'aquest anàlisi no s'han aconseguit xifres concretes dels processos implicats.

I és que, darrera l'abundant oferta, existeix una política informativa molt calculada: és fàcil tenir accés a informes molt especialitzats i complexos, però hi ha poques dades per a que qualsevol persona pugui fer-se una opinió ben fonamentada. Un exemple: resulta senzill trobar a internet complicats documents de centenars de pàgines sobre les característiques de la fabricació de pastilles d'òxid d'urani (el component bàsic del combustible de la majoria dels reactors nuclears), i sobre les complexes proves a que les sotmeten; però resulta gairebé impossible saber exactament quin és el potencial energètic d'una d'aquestes pastilles, o quantes componen els diferents models de combustible.

Aquest és un dels motius pels quals les diferents avaluacions de les emissions de CO<sub>2</sub> del cicle nuclear donen resultats tan diferents. Les dades varien en funció de la complexitat del model

---

<sup>3</sup> De l'allau de documents que insisteixen en aquesta afirmació sense prendre's la molèstia d'argumentar-la destaquem, pel seu pes a l'hora de generar opinió, el document de la CEOE de l'any 2006 "EL PANORAMA ENERGÉTICO: VISIÓN Y PROPUESTAS DE LOS EMPRESARIOS ESPAÑOLES" (pàg. 30 i 49), a on es limiten a repetir les consignes de la IAEA (Agència Internacional de l'Energia Atòmica).

de càlcul utilitzat (que pot incorporar, o no, els consums energètics indirectes), i de la voluntat de cada autor d'incloure-hi més o menys aspectes del cicle nuclear. Una mostra d'aquesta diversitat es reproduïx al quadre - resum de les diverses avaluacions que va realitzar la comissió del govern britànic <sup>4</sup> quan va investigar el sistema energètic del país (QUADRE 1).

### QUADRE 1: Diversitat d'avaluació de les emissions de CO2 del cicle nuclear.

7.1 Summary of source data

Table 7: Summary of source data and assumptions for nuclear CO2 emissions

Referente	Kg per MWh	Min	Max	Type	Geog.
1 IAEA	2 a 6	2	6		
2 Spadaro et al.	2.5 - 5.7	3	3	LWR	
3 Vattenfall 1996	2.82	3	3	BWR	Sweden
4 Koch 2001 (Externe)	2 a 59	2	59	~	~
5 World Energy Council	3 a 40	3	40		
6 Dermaut 1998 (WEC)	4	4			
7 WNA	6	6		BWR	Sweden
8 Uchiyama	8.56	9		Adv BWR	Japan
9 CRIEPI 1995	9	9			Japan
10 Van de Vate 1997 (IAEA)	9 a 30	9	30	PWR	W.
11 Rogner & Khan (IAEA)	9 a 30	9	30		
12 WNA	10 a 26	10	26	BWR	Finland
13 Tokimatsu	13	13		LWR	Japan
14 Gagnon et al	15	15		~	N. America
15 White, Kulcinski & Radcliffe	15	15		PWR	
16 White & Kulcinski	15.2	15		LWR	
17 Meier 2002	15	15		LWR	
18 Paul Scherrer Institute	16	16			W.
19 Voss 2000	19.7	20		PWR	Germany
20 WNA	20	20			France
21 Voss 2002	20	20			
22 Uchiyama 1996	20.02	20		BWR	Japan
23 WNA	22	22		BWR	Japan
24 Rashad & Hammad	25.7 (9-30)	26		PWR	
25 CRIEPI 1995	28	28			USA
26 Oko Institute 1997	34 - 60	34	60		Germany
27 Uchiyama 1995	34	34		Adv LWR	Japan
28 Uchiyama 1995	37	37		Adv LWR	Japan
29 WNA	40	40		BWR	US
30 Uchiyama 1995	77	77		LWR	Japan
31 WISE	140-230	140	230		

Font: sustainable development comisión (reproducció parcial)

Pàg. 31 - 32. The role of nuclear power in a low carbon economy

Paper 2: Reducing CO2 emissions - nuclear and the alternatives

An evidence-based report by the Sustainable Development Comisión. March 2006

Disponibile en <http://www.sd-commission.org.uk/pages/060306.html>

De fet, tots els processos industrials, i especialment les tecnologies energètiques, emeten Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH), sobre tot CO2. Només un càlcul comparatiu permetria escollir quines serien les més favorables per mitigar el canvi climàtic (si aquest fos l'únic factor a tenir en compte). Aquest càlcul es podria realitzar de diverses maneres. Una seria seguir l'**Anàlisi del Cicle de Vida** (ACV) d'una tecnologia amb dades de les emissions de GEH de cada etapa. Aquesta línia podria portar a calcular la **Taxa de Retorn Energètic** (TRE) <sup>5</sup>, relacionant

<sup>4</sup> Disponible a <http://www.sd-commission.org.uk/pages/060306.html> .

<sup>5</sup> Veure [http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TRE\\_tan%20importante\\_como\\_evasivo.pdf](http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TRE_tan%20importante_como_evasivo.pdf) . El concepte de Taxa de Retorn Energètic planeja sobre tot el debat nuclear per la problemàtica dels graus de riquesa del mineral.

l'energia implicada en cada etapa del procés amb l'energia subministrada. També es podrien considerar el conjunt d'impactes ambientals associats en tot el ACV amb els bens i serveis que se n'obtenen, raonant en termes de **producció conjunta** que englobaria els productes, serveis, i residus generats <sup>6</sup>, el que portaria a descartar una tecnologia encara que la seva TRE fos molt positiva (com podria ser el cas de l'energia nuclear).

Una investigació completa en qualsevol d'aquestes direccions excedeix les possibilitats d'aquest anàlisi. Per aproximar-se a les emissions de CO<sub>2</sub> del cicle nuclear s'ha optat per l'estudi d'un cas concret en un període de temps concret. Sense cobrir l'ACV complet i limitant-se al **cicle de funcionament**, es a dir, excloent les emissions derivades de la construcció de la central nuclear i les del tractament dels residus radioactius d'alta activitat. Tot i així, la manca de dades, i les variables presents, obliguen a una gran complexitat de càlcul <sup>7</sup>.

L'expressió "emissions de CO<sub>2</sub>", fa referència a la massa de gasos d'efecte hivernacle comptabilitzats en termes de CO<sub>2</sub>, que és el GEH més abundant. Però el CO<sub>2</sub> no és l'únic gas que incrementa l'efecte hivernacle, existeixen altres gasos generats en processos industrials (com els compostos de fluor) o biològics (com el metà) que s'emeten en menor quantitat però que tenen un potencial d'escalfament mesurable en desenes, centenars i milers de tones de CO<sub>2</sub> equivalents. Sense entrar en més detalls, cal remarcar que aquest anàlisi és una aproximació a una problemàtica força més complexa. Per exemple, no existeixen dades de d'emissions de compostos de fluor i d'altres gasos, amb un potencial d'escalfament que es mesura en milers de tones equivalents de CO<sub>2</sub>, que es fan servir en grans quantitats en diverses etapes de fabricació del combustible nuclear <sup>8</sup>.

El seguiment de les novetats en quant a emissions de les nuclears continuarà. D'aquí que aquest document es plantegi com a versió 1 d'una sèrie.

---

<sup>6</sup> Línia plantejada per Jorge Riechmann en diverses publicacions, veure [http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2\\_final.asp?idinforme=1053](http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2_final.asp?idinforme=1053)

<sup>7</sup> Per fer-se una idea de la complexitat i la manca de dades existents sobre les emissions de CO<sub>2</sub> de l'energia nuclear es recomana la lectura de l'excel·lent treball de Benjamin K. Sovacool "Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey" publicat a la revista Energy Policy i disponible a <http://www.elsevier.com/locate/enpol>

<sup>8</sup> Una aproximació a aquesta i altres complexitats relacionades amb el càlcul es pot veure a "**Energy from uranium**" de Jan Willem Storm van Leeuwen, July 2006, Oxford Research Group. Disponible en <http://www.stormsmith.nl/publications/Energy%20from%20Uranium%20-%20July%202006.pdf>

## 2.- Premisses.

L'anàlisi s'ha realitzat en base a cinc premisses:

**Primera**, s'ha descartat abordar la totalitat del cicle de vida d'una central nuclear. S'han exclòs les emissions derivades del procés de construcció de la central, les que resultarien del seu desballestament i les relacionades amb la gestió dels residus radioactius, optant per centrar-se en un cicle complet de funcionament. Es considera un cicle de funcionament a l'energia generada per una càrrega plena del reactor (75 tones de combustible). El càlcul del que representa aquesta energia també és complicat, perquè el recanvi d'una càrrega sencera no es fa de cop; a cada recàrrega només es substitueix, aproximadament, una tercera part del combustible; així que cal tenir en compte que el nou combustible incorporat està generant energia barrejat amb el vell combustible de recàrregues anteriors.

**Segona**, s'ha fet el càlcul en base a l'energia necessària per fabricar les 75 tones de combustible, els transports necessaris, el funcionament de la pròpia central, i el trasllat dels residus de baixa i mitja activitat resultants al magatzem de El Cabril (Córdoba). Les condicions sense les quals una nuclear no podria funcionar.

**Tercera**, en totes les eleccions de dades s'ha optat per seguir un criteri de prudència. Tots els consums i emissions resultants han estat calculats cercant un resultat contrastat, i fugint d'exageracions. Quan en determinades etapes de l'anàlisi no s'han trobat dades, s'ha optat per fer servir les dades mínimes d'etapes immediates, consignant la limitació. Un dels objectius d'aquest treball és que qualsevol persona pugui fer-se una idea de les implicacions i la complexitat del problema, denunciant així les simplificacions barroeres de la propaganda nuclear.

**Quarta**, i en coherència amb l'anterior, a llarg de tot l'anàlisi es percep que els valors reals de les emissions del cicle de funcionament nuclear han de ser superiors en totes les variables estudiades, ja que, a més dels GEH no comptabilitzats, sempre planeja la despesa energètica de la construcció de la pròpia central nuclear, la del desballestament, i la de la futura gestió dels residus radioactius d'alta activitat.

I finalment, **cinquena**, en tot el procés de càlcul s'han fet servir dades d'abast públic, que pot localitzar qualsevol persona interessada en verificar-les. Resulta evident que la indústria nuclear ha de disposar de dades exactes sobre aquells aspectes en que l'anàlisi només ha pogut fer servir dades aproximades: però no es troben a l'abast del públic. Ser conscients de la estricta condició de "públic" a que la societat és relegada, és part de la denúncia de la campanya pro nuclear.

### **3.- Procediment i metodologia.**

Es podria haver treballat sobre qualsevol central nuclear. Però una revisió de les dades de funcionament dels darrers anys van apuntar la unitat 2 de la central nuclear d'Ascó, entre febrer del 2001 i novembre del 2005, per fer l'anàlisi. Els motius van ser dos.

El primer, la referència a la producció d'energia i al temps sobre el que calia treballar. Preguntes tan senzilles com: Quina és la generació exacta d'energia i quant de temps duren les 75 tones de combustible d'un cicle de funcionament nuclear? no tenen una resposta fàcil.

Ascó 2 va fer la seva 13<sup>a</sup> recàrrega de combustible al mes de febrer del 2001. A la 14<sup>a</sup> recàrrega, entre el 7 i el 29 de setembre del 2002, es van substituir **64 elements combustibles del reactor**. Durant l'any 2003 va estar funcionant sense incidències; i del 13 de març al 10 d'abril del 2004 va realitzar la 15<sup>a</sup> recàrrega, a on li van substituir altres **36 elements combustibles**. Entre el 30 de setembre i el 4 de novembre de 2005 va fer la 16<sup>a</sup> recarrega, amb altres **64 elements** substituïts. Durant l'any 2006 va funcionar amb bastant normalitat i, finalment, entre el 24 de març i el 2 de maig de 2007, va realitzar la 17<sup>a</sup> recarrega, a on li van subministrar 68 elements combustibles nous. **En total, 164 elements van ser introduïts entre setembre del 2002 i novembre del 2005.**

Tenint en compte que el reactor té 157 elements combustibles les dades no encaixen exactament (ja que es substitueixen 164 elements), però es pot considerar que els elements que van ser introduïts al llarg dels anys 2001, 2003, 2004, i 2005 corresponen a un cicle complet de recanvi del combustible nuclear. Es pot assumir que no va ser fins al 2005 que es va substituir el combustible que havia estat renovat al 2001. (veure QUADRE 2).

No ha estat possible aconseguir la xifra d'elements combustibles substituïts a la 13<sup>a</sup> recàrrega, però s'assumeix que quan l'ANAV (Associació Nuclear Ascó – Vandellòs, empresa responsable de la gestió de la planta) informa en la seva pàgina web que en cada recàrrega es substitueix un terç del combustible, no enganya deliberadament a l'opinió pública en un tema de tan poca transcendència.

Això permet fer-se una idea aproximada del temps: 55 mesos, o 1670 dies, o 4,5 anys, és aproximadament el que dura una càrrega completa de combustible nuclear. Però encara resta saber quina és l'energia elèctrica que aquesta càrrega genera.

**QUADRE 2: Producció elèctrica d'Ascó 2 des d'abril del 2001 fins al setembre del 2005 (es comptabilitzen tan sols les dades en negreta)**

En GWh	2001	2002	2003	2004	2005
Gener	754,4	<b>760,27</b>	<b>762,8</b>	<b>761,37</b>	<b>736,2</b>
Febrer	519,25	<b>686,27</b>	<b>688,68</b>	<b>640,86</b>	<b>678,05</b>
Març	<b>214,24</b>	<b>760,31</b>	<b>760,58</b>	<b>222,54</b>	<b>749,07</b>
Abril	<b>736,95</b>	<b>736,92</b>	<b>714,45</b>	<b>451</b>	<b>587,65</b>
Maig	<b>752,33</b>	<b>761,24</b>	<b>761,86</b>	<b>758,19</b>	<b>748,04</b>
Juny	<b>727,8</b>	<b>733,51</b>	<b>728,14</b>	<b>691,38</b>	<b>718,83</b>
Juliol	<b>749,83</b>	<b>716,58</b>	<b>749,84</b>	<b>753,36</b>	<b>740,16</b>
Agost	<b>747,09</b>	<b>662,61</b>	<b>744,44</b>	<b>752,33</b>	<b>741,18</b>
Setembre	<b>731,32</b>	<b>119,83</b>	<b>724,11</b>	<b>727,42</b>	<b>701,64</b>
Octubre	<b>728,75</b>	<b>737,88</b>	<b>755,24</b>	<b>523,67</b>	0
Novembre	<b>735,61</b>	<b>733,26</b>	<b>735,46</b>	<b>552,85</b>	<b>609,79</b>
Desembre	<b>761,87</b>	<b>742,93</b>	<b>761,86</b>	<b>403,13</b>	760,15
TOTAL	<b>8159,44</b>	<b>8151,61</b>	<b>8887,46</b>	<b>7238,1</b>	<b>6400,82</b>

Nota: Dades en negreta, les dades vermelles indiquen la recarrega de combustible.

FONT: elaboració pròpia en base a les dades de UNESA ("informes i fulls grocs") disponibles a <http://www.unesa.es/>

Si es consideren les dades de producció del període comprés, la càrrega completa de combustible d'Ascó 2 hauria generat **37.563,78 GWh** d'energia; però si es considera el resultat de la producció de 75 tones de combustible segons el full de càlcul de WISE (veure nota 9 a peu de pàgina) la producció seria de **22.790,88 GWh**; si es considera l'energia concentrada en una pastilla de combustible segons un portaveu qualificat del "lobby" nuclear<sup>9</sup>, multiplicada pel total de pastilles que formen els 175 elements combustibles del reactor, el resultat que s'obté és de **33.039,5 GWh** i, finalment, si es considera el mateix valor, però segons les dades que facilita el Forum Atómico Español<sup>10</sup>, la recarrega d'Ascó 2 va produir **29.500 GWh**. El detall dels càlculs (amb un element anecdòtic) es pot veure a l'**ANNEX 1**

Treballar amb aquestes xifres de producció obre dues possibilitats: fer la mitja entre els diferents valors i obtenir-ne una única dada de referència, o avaluar les emissions associades a cada dada de producció. S'ha optat per la segona opció.

El segon motiu de l'elecció d'Ascó 2 va ser que els informes del CSN i UNESA mostraven que Ascó 2 va tenir un funcionament força estable en el període 2001 - 2006, el que la va situar al marge de les desconexions i aturades no programades que han caracteritzat el funcionament d'altres nuclears a Catalunya en el mateix període.

<sup>9</sup> "one pellet equals 2,000 lbs of coal", diapositiva 35 de la presentació **Nuclear Energy and Radiation!**, realitzada el 3 de November del 2007 per **Larry R. Foulkex**, Director of Nuclear Programs, University of Pittsburgh. Presentation to the Westinghouse Science Honors Institute. Disponible en [http://www.westinghousenuclear.com/Community/WSHI/11\\_07.pdf](http://www.westinghousenuclear.com/Community/WSHI/11_07.pdf)

<sup>10</sup> "Una pastilla de combustible es un cilindro de aproximadamente un centímetro de altura por un centímetro de diámetro y cinco gramos de peso, con la que se puede producir la energía equivalente a 810 kilos de carbón, 565 litros de petróleo ó 480 metros cúbicos de gas natural." **ENERGÍA NUCLEAR, EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA**, Foro Nuclear, pàg. 6. Disponible en <http://www.foronuclear.es>

Per calcular quines han estat les emissions de CO2 associades a la central s'han fet dos anàlisis complementaris: el de les emissions relacionades amb la producció del combustible, i el dels transports necessaris per a la seva disponibilitat.

La producció de les 75 tones de combustible implica un altre problema de càlcul. La indústria nuclear mostra, en diversos documents i animacions, les diferents etapes del cicle, però no donen dades concretes dels materials o de l'energia de cada etapa de fabricació. Només s'han trobat dues referències indirectes sobre materials per poder fer l'anàlisi.

La primera d'elles, d'abast públic i no qüestionada per la indústria nuclear, va ser l'animació publicada a la pàgina web del diari "**El País**" sobre el cicle nuclear <sup>11</sup>. En aquesta animació es faciliten dades dels volums de materials implicats seguint les indicacions del Foro Nuclear, La World Nuclear Association i l'Uranium Information Center d'Austràlia.

L'altra són les excel·lents calculadores disponibles a la pàgina web del World Information Service on Energy (WISE) en el seu apartat "**The WISE Uranium Project Calculators!**" <sup>12</sup> que cobreixen gairebé la totalitat de la cadena nuclear.

Paradoxalment, el consum de materials que resulta de l'animació de "El País" (amb les dades que provenen de la pròpia indústria nuclear) és força més elevat que l'obtingut de les calculadores del WISE, el que ha portat a fer servir aquesta darrera font com a marc general de referència en tot el procés de fabricació. El detall dels càlculs de "El País" es pot veure a **l'ANNEX 2**.

Pel que fa al cicle de transports les dades són més heterogènies i el nivell de càlcul més obert, les referències a distàncies s'han obtingut del programa **Google Earth**, essent plenament conscients que el traçat en línia recta que facilita en molts casos no és real, ja que retalla distàncies i dona un valor d'emissió de CO2 menor, però s'ha acceptat aquesta limitació d'acord amb la premissa tercera de l'apartat 2.

Tant en el cicle de transports com en el de materials, les referències a l'Empresa Nacional de l'Urani SA (ENUSA) <sup>13</sup> han estat constants; no tan sols perquè aquesta empresa es defineix com la "**central de compras para las empresas eléctricas españolas**", sinó perquè les

---

<sup>11</sup> Veure [http://www.elpais.com/fotogalerias/popup\\_animacion.html?xref=20051202elpepusoc\\_1](http://www.elpais.com/fotogalerias/popup_animacion.html?xref=20051202elpepusoc_1), si no ha estat retirada, o modificada, ja.

<sup>12</sup> Veure <http://www.wise-uranium.org/calc.html>

<sup>13</sup> Es pot comprovar que la pàgina web d'ENUSA ( <http://www.enusa.es/index.html> ) abundant en informacions genèriques és totalment inútil per obtenir dades fiables del comerç d'urani, que s'han de cercar a altres fonts.

presentacions públiques dels seus directius i representants, disponibles en internet, són una bona font d'informació sobre aspectes generals del cicle de funcionament de les centrals.

En el cicle de materials es calculen els consums energètics de la producció de materials de cada etapa i, a partir d'aquí, les emissions del CO<sub>2</sub> associades. En el cicle de transport es calculen les distàncies i sistemes de transports i les emissions dels desplaçaments.

L'anàlisi comença pel cicle de transport, ja que defineix valors comuns a totes les variables que es consideren en el cicle de producció de materials.

#### 4.- EMISSIONS DEL CICLE DEL TRANSPORT

Per tal de simplificar l'anàlisi s'han considerat únicament quatre etapes de transport entre cinc punts de la cadena de producció: des de la mina a la planta de concentració i enriquiment, des de la planta d'enriquiment a la de fabricació de combustible (donat l'important paper que desenvolupa Juzbado a judici dels defensors de l'energia nuclear), des de la fàbrica de combustible a la central i, finalment, el transport dels residus de mitja i baixa activitat generats fins al magatzem de El Cabril (Córdoba). El combustible gastat roman temporalment a les piscines de la central. El càlcul de les emissions de CO<sub>2</sub> associades a la seva gestió no entra en l'àmbit d'aquest treball, el que no significa que no impliquin consum energètic en termes de refrigeració i transport en el futur <sup>14</sup>.

Aquesta delimitació d'etapes també és favorable a la indústria nuclear. Existeix evidència de que la fase del refinat no es realitza a la pròpia mina, i de que la fase de concentració es realitza en unes instal·lacions diferents a les de l'enriquiment <sup>15</sup>, el que implicaria dos trasllats més dins de la cadena de producció. No obstant, la manca d'informació d'ENUSA sobre els detalls exactes del cicle complet de materials imposa aquesta limitació.

Es parteix de la hipòtesi de que les fases d'extracció, triturat, i producció del "pastís groc" es fan en la mateixa instal·lació minera. Això implica assumir que la totalitat del procés de fabricació de les 637 tones d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, (necessàries per obtenir les 75 tones de combustible) es fa en el propi país d'on s'extreu el mineral.

Posteriorment, l'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> es trasllada a la planta de Springfields (Regne Unit) per fabricar el concentrat d'hexafluorur d'urani (UF<sub>6</sub>) i procedir a l'enriquiment. Des d'allí, les 75 tones d'òxid d'urani (UO<sub>2</sub>) resultants, en pastilles o en pols, viatgen a Juzbado (Salamanca) a on es fabriquen les barres i els elements combustibles a on es col·loquen. Aquests elements combustibles són traslladats a Ascó 2 i, finalment, els residus de mitja i baixa activitat resultants són enviats a El Cabril (Córdoba).

La cadena amb la que es treballa és: mina – Springfields (1<sup>a</sup> etapa); Springfields – Juzbado (2<sup>a</sup> etapa); Juzbado – Ascó 2 (3<sup>a</sup> etapa); i Ascó 2 – El Cabril (4<sup>a</sup> etapa).

---

<sup>14</sup> European Isotopes Transport Association <http://www.eita.org/site/start.php?iCategoryId=1> WNTI World Nuclear Transport Institute <http://www.wnti.co.uk/>.

<sup>15</sup> Veure <http://www.enritec.com/> - <http://www.enritec.com/FullStory.aspx?m=107>

#### **4.1.- Els valors d'emissió dels sistemes de transport.**

Els valors d'emissió s'han obtingut de les dades de l'Asociación de Navieros Españoles per la raó de que estableix un criteri genèric i comparatiu entre els tres sistemes de transport de mercaderies.

**Transport per ferrocarril:** Malgrat les abundants referències al ferrocarril com a mitjà de transport ecològic hi ha poques dades concretes sobre les seves emissions de CO<sub>2</sub>. En la recerca tan sols s'han trobat tres informacions amb dades aplicables. Una en articles de mobilitat d'Ecologies en Acció, que adjudica un valor de 23 grams de CO<sub>2</sub> per a cada tona i quilòmetre de mercaderia transportada<sup>16</sup> (sense citar l'origen de la xifra); una altra en un anàlisi del Govern Basc, amb motiu de la Y basca, que adjudica 19 grams de CO<sub>2</sub> per cada tona i quilòmetre<sup>17</sup>; i una tercera referència en el Boletín Informativo de l'ANAVE (Asociación de Navieros Españoles)<sup>18</sup> a on s'adjudiquen 0,573 kilograms per TEU i quilòmetre ( es a dir uns **20,30 grams de CO<sub>2</sub> per tona i quilòmetre**, sense referència concreta dels càlculs, i tenint en compte que el màxim de càrrega de cada TEU, "Twenty-feet Equivalent Unit" unitat bàsica de càrrega dels contenidors, són 28,230 tones).

**Transport per carretera:** Les dades existents també varien i, a més, està prevista la entrada en vigor d'una normativa restrictiva d'emissions de la Unió Europea. El Boletín Informativo de l'ANAVE adjudica una emissió de CO<sub>2</sub> de **81,33 grams de CO<sub>2</sub> per tona i quilòmetre**.

Un contenidor admet un màxim de càrrega de 28 tones, i un camió de transport de minerals i roques té una capacitat de càrrega habitual de 25 a 27 tones, així que s'han assumit aquests valors com habituals. Per calcular el número total de viatges s'ha partit d'un 90% de càrrega en el transport (valor molt superior al que es considera habitualment, que oscil·la en torn al 70% de la càrrega màxima) arrodonint la xifra a l'alça, tant en viatges com en emissions.

**Transport marítim:** En aquest cas es faran servir també les dades del document mencionat als punts anteriors que, amb la mateixa referència, adjudica uns valors de **16,9 grams de CO<sub>2</sub> per tona i quilòmetre**.

Per tant, els valors que s'aplicaran a cada sistema de transport seran de **20,30 grams per tona i quilòmetre en el cas del ferrocarril, 81,33 grams per tona i quilòmetre en el**

---

<sup>16</sup> Veure <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article1112>

<sup>17</sup> Veure [http://www.garraioak.ejgv.euskadi.net/r41-430/es/contenidos/informacion/4429/es\\_4081/aspectos\\_medioambientales.html](http://www.garraioak.ejgv.euskadi.net/r41-430/es/contenidos/informacion/4429/es_4081/aspectos_medioambientales.html)

<sup>18</sup> Veure ANAVE, nº 471 - Febrero 2008, **Cambio climático y transporte marítimo. Posición conjunta de ECSA e ICS** <http://www.anave.es/Vinc%20noticias/Trib%20Prof%20febr%2008.pdf>

**cas del transport per carretera i 16,9 grams per tona i quilòmetre en el cas del transport marítim.** Els tres valors provenen de la font comuna d'ANAVE.

#### **4.2.- La determinació de la cadena de transport.**

La **primera etapa de la cadena de transport** comença a les mines d'on s'obtenen les 637 tones de U3O8 necessàries per produir l'hexafluorur d'urani (UF6) del que es fabricaria una càrrega completa de combustible per a Ascó , i acaba en la planta de fabricació del combustible.

En els documents d'ENUSA i en els informes anuals del CSN al Congrés dels Diputats es repeteixen contínuament que es compra a diversos proveïdors en el mercat mundial. Això indica que hi ha un grau elevat de mobilitat, es a dir, molts transports i molt comerç. La participació que ENUSA posseeix en l'empresa COMINAK (Companyia Minera d'Akouta), en Níger, no significa cap tipus de preferència de compra com mostra el QUADRE 3.

#### **QUADRE 3 : Subministrament d'urani, anys 2004, 2005 i 2006**

<b>SUBMINISTRAMENT A ENUSA</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	
Tones de U3O8 comprades	2411	1394	2044	
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>mitja</b>
Rússia.	27,7	31	30	<b>29,57</b>
Canadà.	16,6	-	17	11,20
Níger.	13,6	16	12	<b>13,87</b>
Austràlia.	11,2	13	15	<b>13,07</b>
Sudàfrica.	10,1	11	-	7,03
Namíbia.	6,4	14	12	10,80
Altres països.	14,4	15	14 (USA)	14,47

FONT: elaboració pròpia en base als Informes del 2004, 2005 i 2006 del Foro Nuclear.

No és possible determinar l'origen de l'U3O8 que acaba com a combustible a Ascó 2, ni la quantitat exacta de transports associats. Tan sols es pot especular, pel volum de compres es podria considerar la hipòtesi de que les 637 tones d'U3O8 es transportaven en un únic viatge des de Rússia (hipòtesi més favorable, ja que, per exemple, al 2004 el 27,7% de 2411 tones són 667,8 tones, es a dir, més de les que necessitaria la recarrega d'Ascó 2) que, a més, és el subministrador preferent entre 2004 i 2006. En el cas del Níger, el volum de compra de materials ja faria necessari dos viatges; i en cas de d'Austràlia ja en serien necessaris tres.

Davant tot això, i tenint en compte la diversificació de compres d'ENUSA, s'ha optat per distribuir percentualment les 637 tones entre els tres principals proveïdors. S'ha considerat aquesta opció com la més equilibrada, si es considera que un plantejament estrictament proporcional obligaria a distribuir-les entre els 7 proveïdors del QUADRE 3.

La **segona etapa de la cadena de transport** s'inicia en la fàbrica de Springfields, en el Regne Unit, i acaba a la fàbrica de combustible de Juzbado. Les dues empreses relacionades amb ENUSA, Express Truck SA <sup>19</sup> i Enusegur SA, s'ocupen de moure el combustible dins la Península.

Un cop realitzada la conversió i l'enriquiment es planteja el problema de si també cal tornar a diversificar les fàbriques de les que s'obtidrien les 75 tones d'UO<sub>2</sub>, o si és millor centralitzar-la en una. Dels informes de la pròpia ENUSA es dedueix que aquesta empresa treballa amb diversos proveïdors d'urani enriquit, però els anuaris del CSN i del "Instituto Español del Comercio Exterior" <sup>20</sup> indiquen el Regne Unit com a origen de les importacions d'urani en forma de combustible, el que unit a que l'empresa Westinghouse Electric Co., dels EE.UU., es menciona com a principal proveïdor d'òxid d'urani <sup>21</sup> permet considerar que la planta anglesa de Springfields és l'opció més probable com a destinatària del U3O<sub>8</sub> i origen del combustible nuclear acabat. També podria passar que el combustible provingués de plantes de EE.UU. i tingués el Regne Unit com a etapa en la seva distribució comercial. Aquesta segona possibilitat, que no es calcula per manca de dades, incrementaria molt el nivell d'emissions del cycle de transport.

La **tercera etapa de la cadena de transport** consisteix en portar els elements combustibles des de la fàbrica de Juzbado a la central nuclear d'Ascó 2. I, finalment, la **quarta etapa** és el trasllat dels residus de mitja i baixa activitat des de la central nuclear d'Ascó al cementiri de "El Cabril".

#### **4.3.- Minería.**

Implica que les etapes d'extracció, triturat, i producció del "pastís groc" (yellow cake, o U3O<sub>8</sub>) es fan en la mateixa instal·lació, des d'on es traslladen a la planta de concentració i enriquiment. Per determinar ajustadament l'origen del mineral s'ha optat per escollir els tres proveïdors principals (Rússia, Níger i Austràlia), calcular la mitja de cadascú d'ells sobre el total de combustible necessari pel cycle de funcionament i, a partir d'aquí, calcular les emissions del transport de cada proveïdor. Partint de les dades del QUADRE 3, s'han obtingut les dades del QUADRE 4. En tot moment, el criteri ha estat reduir al mínim els desplaçaments i, per tant, les emissions de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>19</sup> La pàgina web d'Express Truck SA (<http://www.etsa.es/>) permet fer-se una idea dels desplaçaments del material, però tampoc no facilita dades.

<sup>20</sup> Veure [http://www.csn.es/plantillas/frame\\_publicaciones.jsp?id\\_nodo=309&tipo=ISE&keyword=&auditoria=F](http://www.csn.es/plantillas/frame_publicaciones.jsp?id_nodo=309&tipo=ISE&keyword=&auditoria=F) i ([http://www.icex.es/icex/cda/controller/pageICEX/0,6558,5518394\\_5549233\\_5549194\\_0\\_0\\_-1,00.html](http://www.icex.es/icex/cda/controller/pageICEX/0,6558,5518394_5549233_5549194_0_0_-1,00.html)), respectivament.

<sup>21</sup> Veure la informació a ENUSA: <http://www.enusa.es/pub/enusa/clientes.html>

Es calculen, doncs, les emissions del transport de 333,32 tones d'U3O8 des de Rússia, les de 156,35 tones des de Níger, i les de 147,33 tones des de Austràlia. D'aquests tres subministraments s'obtidrien les 637 tones que Ascó 2 necessita pel seu combustible.

#### QUADRE 4 : Distribució subministrament d'U3O8

PROVEÏDORS PRINCIPALS	Mitja total	mitja ponderada %	Distribució de les tones de U3O8 per a cada proveïdor
Rússia.	29,57	52,33	333,32
Níger.	13,87	24,54	156,35
Austràlia.	13,07	23,13	147,33
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>637</b>

FONT: Elaboració pròpia en base a les dades d'ENUSA.

#### 4.3.1.- Rússia – Springfields:

L'explotació minera de **Krasnokamensk** és la que ofereix un millor resultat d'explotació <sup>22</sup>, ja que és una explotació amb un elevat nivell de producció. S'assumeix que les 333,32 tones corresponents es traslladen de manera conjunta al port de Sant Petersburg en un únic transport, i que el procés de triturat s'ha fet en la pròpia instal·lació minera.

En base a les dades del QUADRE 5 s'ha descartat el transport per carretera des de Krasnokamensk a Sant Petersburg, ja que el ferrocarril Trans Sibèria passa per la zona de l'anomenat Óblast de Chita, a on s'hi troben les mines. A destacar la diferència entre les emissions del transport per carretera (opció descartada) i les del ferrocarril. Posteriorment es faria el transport per via marítima a Liverpool, i el seu trasllat posterior a Springfields en camions de 25 metres de llargada i 60 tones de càrrega útil, amb un factor de càrrega del 90%.

#### QUADRE 5: Emissions transport Krasnokamensk (Rússia) - Springfields (Regne Unit).

TONES	RUTA	origen	destí	distància Km.	VIATGES	TOTAL KMS.	FACTOR EMISSIÓ	tones de CO2
333,32	ferrocarril	Krasnokamensk	St. Petersburg	6815	1	6815	20,3	46,113
333,32	carretera	Krasnokamensk	St. Petersburg	6700	13	87100		0,000
333,32	marítima	St. Petersburg	Liverpool	4320	1	4320	16,9	24,335
333,32	carretera	Liverpool	Springfields	58	13	754	81,33	20,440
<b>TOTAL</b>								<b>90,888</b>

FONT: les distàncies s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

El total de tones de CO2 emeses en totes aquestes etapes seria de **90,888**, aproximadament.

#### 4.3.2.- Austràlia – Springfields.

La millor opció és la mina Ranger, per la seva proximitat a la costa, el que redueix les emissions del transport per carretera fins al port de Darwin. S'han calculat un mínim de 3

<sup>22</sup> Veure <http://www.world-nuclear.org/info/inf45.html>

viatges, també amb camions de 25 metres de llargada i 60 tones de càrrega útil amb un factor de càrrega del 90%, que és l'opció més favorable. Les dades apareixen al QUADRE 6.

#### QUADRE 6: Emissions transport Mina Ranger (Austràlia) - Springfields (Regne Unit).

TONES	RUTA	origen	destí	distància Km	VIATGES	TOTAL KMS.	FACTOR EMISSIÓ	CO2 tones
147,33	carretera	Mina Ranger	Port Darwin	230	6	1380	81,33	16,54
147,33	marítima	Port Darwin	Liverpool	59300	1	59300	16,9	147,65
147,33	carretera	Liverpool	Springfields	58	6	348	81,33	4,17
<b>TOTAL</b>								<b>168,36</b>

FONT: les distàncies s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

El total de tones de CO2 emeses en aquestes etapes seria de **168,36, aproximadament.**

#### 4.3.3.- Níger – Springfields.

En el cas del Níger el transport implica llargues distàncies per carretera. La mina de Akouta es troba a les proximitats del desert de Teneré i, sense ferrocarril, l'U308 ha de ser transportat per carretera fins al port de Cotonou, el que implica conflictes diversos <sup>23</sup>.

Les hipòtesis de transport per carretera són les mateixes que es plantegen els trajectes d'Austràlia i Springfields. Les dades apareixen referides en el QUADRE 7.

#### QUADRE 7: Emissions transport Akouta (Níger) - Springfields (Regne Unit).

TONES	RUTA	origen	destí	distància Km	VIATGES	TOTAL KMS.	FACTOR EMISSIÓ	tones CO2
156,35	carretera	Akouta	Cotonou	2025	6	12150	81,33	154,50
156,35	marítima	Cotonou	Liverpool	7800	1	7800	16,9	20,61
156,35	carretera	Liverpool	Springfields	58	6	348	81,33	4,43
<b>TOTAL</b>								<b>179,53</b>

FONT: les distàncies s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

El total de tones de CO2 emeses en aquestes etapes és de **179,98, aproximadament.**

#### 4.3.4.- Resultats de l'anàlisi de l'etapa de mineria.

Els transports d'U308 per a la fabricació de les 75 tones de combustible impliquen, segons les diverses hipòtesis amb que s'ha treballat, l'emissió d'un total de **438,77 tones de CO2.**

#### 4.4.- Combustible: Etapa Springfields - Juzbado

El transport dels òxids d'urani (UO<sub>2</sub>) des de Springfields a la fàbrica de Juzbado plantejava dues possibilitats: per carretera travessant el Canal de la Mànega, o per vaixell fins al port de A Corunya. De les dues s'ha escollit la via marítima, per ser la que menys emissions de CO2

<sup>23</sup> Veure la pàgina del WISE ( <http://www.wise-uranium.org/umop.html#NE> ) i altres pàgines de premsa per l'evolució del conflicte militar en torn a l'urani del Níger.

genera. L'existència d'una seu d'ETSA (Express Truck, SA), l'empresa dedicada al transport de materials radioactius d'ENUSA, al port de A Corunya, indiquen que la ruta Springfields – Liverpool (carretera), Liverpool – A Corunya (vaixell) i, finalment, A Corunya – Juzbado (carretera), era la més probable. S'han considerat 10 viatges, ja que cal tenir en compte les emissions del transport de retorn que, per la naturalesa de la càrrega, ha de tornar buit (QUADRE 8).

De les dades dels informes de CSN, i del Instituto Español de Comercio Exterior, s'ha determinat que es necessiten un mínim de 5 viatges per traslladar les 75 tones de combustible d'una càrrega completa.

Encara que les dades disponibles d'ETSA no detallen el tipus de vehicles que fan servir en el transport, s'assumeix que el trasllat per carretera es fa en les mateixes condicions que en el cas del transport del U308: camions de 25 metres de llargada i 60 tones de capacitat de càrrega, amb el que es dona un altre escenari favorable a la indústria nuclear, ja que aquesta opció minimitza la quantitat de transports a realitzar. S'ha calculat un 90% de càrrega (valor molt superior al que es considera habitualment que oscil·la en torn al 70%) arrodonint la xifra a l'alça, tant en viatges com en emissions. Els càlculs parteixen de les dades del CSN ja que, independentment de la data concreta, ofereixen informació sobre les pautes habituals del comerç.

#### **QUADRE 8: Emissions transport Springfields (Regne Unit) Juzbado.**

<b>Mostra de viatges amb urani</b>	<b>Kg</b>	<b>RUTA</b>	<b>origen</b>	<b>destí</b>	<b>distància KM</b>	<b>FACTOR EMISSIÓ</b>	<b>CO2 tones</b>
19/09/2004	18.710,50	carretera	Springfields	Liverpool	58	81,33	0,09
21/03/2005	18.736,56	carretera	Springfields	Liverpool	58	81,33	0,09
03/10/2005	12.574,27	carretera	Springfields	Liverpool	58	81,33	0,06
08/01/2006	12.486,93	carretera	Springfields	Liverpool	58	81,33	0,06
22/01/2006	12.529,09	carretera	Springfields	Liverpool	58	81,33	0,06
19/09/2004	18.710,50	marítima	Liverpool	A Corunya	1265,46	16,9	0,40
21/03/2005	18.736,56	marítima	Liverpool	A Corunya	1265,46	16,9	0,40
03/10/2005	12.574,27	marítima	Liverpool	A Corunya	1265,46	16,9	0,27
08/01/2006	12.486,93	marítima	Liverpool	A Corunya	1265,46	16,9	0,27
22/01/2006	12.529,09	marítima	Liverpool	A Corunya	1265,46	16,9	0,27
19/09/2004	18.710,50	carretera	A Corunya	Juzbado	513	81,33	0,78
21/03/2005	18.736,56	carretera	A Corunya	Juzbado	513	81,33	0,78
03/10/2005	12.574,27	carretera	A Corunya	Juzbado	513	81,33	0,52
08/01/2006	12.486,93	carretera	A Corunya	Juzbado	513	81,33	0,52
22/01/2006	12.529,09	carretera	A Corunya	Juzbado	513	81,33	0,52
<b>TOTAL</b>							<b>5,09</b>

FONT: Dades de viatges dels informes del CSN al Congrés dels Diputats, i distàncies que s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

El total de tones de CO2 emeses en les diverses etapes de trasllat del combustible ja elaborat és de **5,09**.

#### 4.5.- Combustible: Etapa Juzbado – Ascó.

Les barres de combustible de les tres recàrregues no es transporten en un únic viatge. El detall dels transports dels informes del CSN indiquen la quantitat d'unitats combustibles fresques (UCF) traslladades. Les dades corresponents al QUADRE 9.

#### QUADRE 9: Emissions transport d'ECF (Element Combustible Fresc) des de Juzbado (Salamanca) a Ascó 2.

JUZBADO - Ascó2 materiales fisibles	Pes d'un ECF (tones)	ECF	RUTA	origen	destí	distància Kms.	FACTOR EMISSIÓ	CO2 tones	2 viatges CO2 tones
recàrrega 7 - 29/09/02	0,477	40	carretera	Juzbado	Ascó 2	739	81,33	1,147	
recàrrega 7 - 29/09/02	0,477	24	carretera	Juzbado	Ascó 2	739	81,33	0,688	
Del 13/3 a 10/4/04	0,477	36	carretera	Juzbado	Ascó 2	739	81,33	1,032	
Del 13/3 a 10/4/04	0,477	24	carretera	Juzbado	Ascó 2	739	81,33	0,688	
Del 30/9 a 4/11/05	0,477	40	carretera	Juzbado	Ascó 2	739	81,33	1,147	
TOTAL								<b>4,702</b>	<b>9,403</b>

FONT: Dades de viatges dels informes del CSN al Congrés dels Diputats, i distàncies que s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

En aquest quadre torna a reflectir-se l'absència de dades de la recàrrega del 2001, ja comentada en l'apartat 3, s'ha optat per treballar sobre les xifres existents, ja que el més important són les emissions de CO2 de l'etapa, no el moment en que es produeixen. Així, s'emeten **4,702** tones de CO2 emeses en aquestes etapes. Però tenint en comte que els transports han de retornar buits per la naturalesa de la càrrega, serien **9,403 tones**.

#### 4.6.- Traslats dels residus de mitja i baixa activitat d'Ascó a El Cabril (Córdoba).

A partir de les dades dels informes del Foro Nuclear s'ha establert que un total aproximat de 1089 bidons de residus de mitja i baixa activitat radioactiva, resultants de l'activitat d'Ascó 2, es van traslladar fins al cementiri nuclear de El Cabril (Córdoba). S'ha assumit que els camions transporten 45 bidons en cada viatge <sup>24</sup>. A partir d'aquí s'ha calculat el total d'emissions resultant dels viatges, segons apareixen al QUADRE 10.

No s'han pogut obtenir les dades de transport de residus durant els anys 2001 i 2002, així que les emissions s'han calculat en base a la xifra més petita disponible (els 74 bidons enviats el 2004). S'emetrien **213,81** tones de CO2 en aquestes etapes, que suposen en realitat un total de **427,613**, perquè també els transports han de retornar buits per la naturalesa de la càrrega.

<sup>24</sup> Veure la informació de premsa

[http://www.elpais.com/articulo/sociedad/CoRDOBA/EMPRESA\\_NACIONAL\\_DE\\_RESIDUOS/SA/ENRESA/EL\\_CABRIL/camion/basura/radiactiva/dia/elpepisoc/19961007elpepisoc\\_9/Tes/](http://www.elpais.com/articulo/sociedad/CoRDOBA/EMPRESA_NACIONAL_DE_RESIDUOS/SA/ENRESA/EL_CABRIL/camion/basura/radiactiva/dia/elpepisoc/19961007elpepisoc_9/Tes/) )

#### QUADRE 10: Emissions totals del transport Ascó 2 – El Cabril (Córdoba).

Anys	Pes d'un bidó en TONES	BIDONS	distància KM	VIATGES	TOTAL KMS.	FACTOR EMISSIÓ	CO2 tones	2 viatges CO2 tones
2001	0,5	74	832	2	1361	81,33	4,08	
2002	0,5	74	832	2	1361	81,33	4,08	
2003	0,5	394	832	9	7280	81,33	116,58	
2004	0,5	74	832	2	1361	81,33	4,08	
2005	0,5	251	832	6	4639	81,33	47,33	
2006	0,5	224	832	5	4138	81,33	37,66	
		<b>1089</b>					<b>213,81</b>	<b>427,613</b>

FONT: Dades dels anuaris del Foro Nuclear Español anys 2002 - 2006, i distàncies que s'han calculat fent servir el programa GOOGLE EARTH

#### 4.7.- Conclusió de les emissions del cicle de transports.

Partint de les premisses enunciades a l'apartat 2, i en base a les dades de la recerca, es pot considerar que els transports de la producció elèctrica d'un cicle de recarrega d'Ascó 2 generarien **880,87 tones de CO2**. S'ha de remarcar especialment que aquesta quantitat resulta una aproximació a partir d'unes consideracions ideals que molt difícilment es donaran a la realitat. Les distàncies considerades en línia recta en molts casos, el factor de càrrega quan es transporta en camions, la pràctica de compra d'urani en els mercats internacionals, i la relació preferent amb la mineria del Níger. Tot un conjunt de factors que implicaria, sense cap esforç, triplicar els transports i les emissions.

## **5.- EMISSIONS DEL CICLE DE PRODUCCIÓ DE MATERIALS**

### **5.1.- QÜESTIONS PRÈVIES: LA RIQUESA DEL MINERAL D'URANI, LA SEVA DURESA, EL PROCÉS D'ENRIQUIMENT I ELS COMBUSTIBLES QUE ES FACIN SERVIR, DETERMINARAN L'ENERGIA UTILITZADA I LES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>.**

La fabricació del combustible que fa funcionar una central nuclear consta, a grans trets, de sis etapes: l'extracció de mineral, la seva concentració posterior (triturat i tractament químic per obtenir un compost d'òxids d'urani, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), la conversió del U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> en hexafluorur d'urani (UF<sub>6</sub>), l'enriquiment del UF<sub>6</sub>, la fabricació de les pastilles l'òxid d'urani (UO<sub>2</sub>), i la fabricació de les barres de combustible i els elements a on s'insereixen.

L'urani és un mineral relativament escàs en la Terra, amb el problema afegit de que la seva concentració és molt baixa. Una proporció de 1 a 5 grams d'urani per cada tona de roques es considera acceptable. El problema encara es complica més quan es considera que dels dos isòtops que formen l'urani (U-238 i U-235) el menys abundant, el U-235, que constitueix tan sols el 0,7% del total de l'urani, és l'únic que permet iniciar una reacció nuclear.

Cadascuna de les sis etapes enunciades abans té un consum d'electricitat i energia fòssil associat. La mineria i el triturat són els que determinen l'energia i les emissions de CO<sub>2</sub> de la primera part del cicle de producció. Segons la riquesa del jaciment (percentatge de mineral d'urani per tona de roca) caldrà remoure una quantitat major o menor de material, amb el conseqüent increment o reducció del consum d'energia, i una major o menor emissió de CO<sub>2</sub>. L'energia i emissions del procés de triturat dependrà d'aquest factor, i també de la major o menor duresa de les roques a on es troba el mineral, ja que l'urani es pot trobar en roques toves (sandstones), o en roques dures del tipus del granit.

Així, la riquesa i la duresa del mineral determinen la primera part del cicle. Per aquest anàlisi no es tindrà en compte el grau de duresa, ja que el càlcul implica dificultats, però sí el grau de riquesa. En el cas que estem analitzant es pot considerar l'origen del mineral d'urani, tal com es va mostrar al QUADRE 3, i es detalla el seu grau de riquesa, com s'ha fet al QUADRE 11.

El grau de riquesa de les mines amb les que ENUSA comercia és força desigual. A efectes d'aquest anàlisi, i com que el combustible d'Ascó 2 no prové d'una única mina, s'ha optat per obtenir un nivell mitja de riquesa de les mines que el van subministrar durant el 2004 i 2005, a partir de les dades dels proveïdors reconeguts per ENUSA i de la informació de la WNA s'ha seleccionat el millor valor, i s'ha determinat una mitjana per a tot el volum de materials del cicle que es pot veure al QUADRE 11.

## QUADRE 11 : Mitjana de riquesa del mineral de les mines més destacades.

PAÍS	MINA	ORE GRADE %
Canadà	(SASKATCHEWAN)	0,980
Austràlia	(ERA RANGER)	0,100
Kazajstàn	(AKDAL, INKAY, etc.)	0,057
Rússia	KRASNOKAMENSK	0,100
Namíbia	(LANGER)	0,068
Níger	(AKOUTA)	0,460
<b>MITJANA % RIQUESSA</b>		<b>0,294</b>

FONT : Elaboració pròpia a partir de les dades del WISE.

S'ha decidit adjudicar a tot el mineral del que s'ha fabricat el combustible d'Ascó 2 un grau de riquesa **ideal** del **0,294 %**, el que es considera un valor acceptable si es té en compte que el mineral de millor qualitat, el que prové del Canadà, no és el que més es compra.

A partir de les dades del QUADRE 11, s'ha calculat el volum de roques a remoure per obtenir les 75 tones de combustible d'Ascó 2, i els consums i emissions que se'n deriven segons la pàgina de càlculs del WISE. Les dades es mostren al QUADRE 12,

Els resultats mostren que una reducció de la riquesa del mineral en 92 punts (de un 0,98% a un 0,06%) implica un valor 19,5 vegades més elevat en despesa energètica i emissions de CO<sub>2</sub>, l'augment de roques a remoure implica més energia per obtenir-les i triturar-les.

## QUADRE 12: Grau de riquesa, volum de material, consum d'energia i emissions de CO2 de les activitats de mineria i triturat del material per fabricar U3O8

Origen del U3O8	riquesa del mineral %	tones de roques a remoure	total consum energètic mineria i triturat Mwh	total emissions CO2 tones	factor de variació
<b>Canadà.</b>	0,98	278012,60	14929,40	4769,48	<b>1,00</b>
<b>Níger.</b>	0,46	598189,90	32123,07	10262,29	<b>2,15</b>
<b>Rússia.</b>	0,10	2951205,00	158481,01	50629,74	<b>10,62</b>
<b>Austràlia.</b>	0,10	2951205,00	158481,01	50629,74	<b>10,62</b>
<b>Namíbia.</b>	0,07	4482424,00	240708,20	76898,74	<b>16,12</b>
<b>Kazajstà</b>	0,06	5423738,00	291257,12	93047,56	<b>19,51</b>

FONT: Dades de riquesa obtingudes de la pàgina web de la WNA (World Nuclear Association), dades de materials, consum energètic i emissions de CO<sub>2</sub> obtingudes de les calculadores del WISE (Nuclear Fuel Energy Balance Calculator - <http://www.wise-uranium.org/nfce.html>)

Del QUADRE 12 es desprenen dues conclusions. La primera, que abans de reivindicar les "baixes emissions de CO<sub>2</sub>" la indústria nuclear hauria de comunicar de quina mina procedeix el combustible i quin és el seu grau de riquesa. La segona, que després de 50 anys d'explotació dels recursos minerals d'urani, i un cop exhaurides les vetes més riques, la qualitat dels jaciments ha disminuït, el que significa un increment de les emissions de CO<sub>2</sub> en el futur. Siguin quines siguin les actuals emissions, l'escenari futur sempre serà d'increment.

Si la mineria i el triturat determinaven la primera etapa del procés; en la segona etapa serà el procediment d'enriquiment el que determinarà la quantitat d'energia i les emissions relacionades. L'enriquiment consisteix en incrementar la proporció de l'isòtop U-235 del combustible des d'un 0,7% en el gas d'UF<sub>6</sub>, fins a un nivell proper al 3%, que és el que necessiten els reactors més habituals (els "d'aigua lleugera"), com és el cas dels PWR (reactors d'aigua a pressió) que és el reactor d'Ascó 2.

L'enriquiment consisteix en passar el gas per diverses membranes per concentrar l'U-235, separant-lo de l'U-238. Cada increment en el percentatge es mesura en el que s'anomena Unitat Tècnica de Separació (UTS, o SWU en les sigles angleses).

El que interessa apuntar és que aquest procés es pot realitzar per dues tecnologies diferents: en la primera, anomenada de "difusió gasosa", el gas és impulsat a pressió a través de les membranes. Aquest és el procediment que consumeix més energia, amb 2400 KWh per cada UTS emprada <sup>25</sup>. La difusió gasosa es fa servir principalment en els EE.UU.

L'altra tecnologia, anomenada de "centrifugació", consisteix en fer rotar el gas en una sèrie de cilindres. En aquest cas, les avaluacions de la despesa d'energia va des dels 0,5 KWh per UTS, que publica l'Associació Nuclear Mundial (WNA); fins als 100 a 400 KWh per UTS que recull el Foro Nuclear Español, o els 40 KWh per UTS que considera l'estudi de Sovacool 2008. El procediment de centrifugació és el més habitual en les plantes europees i russes.

Les diferències de consum energètic i d'emissions de CO<sub>2</sub> depenen de la quantitat d'elements del procés industrial que s'incorporin al càlcul (des de la capacitat de càrrega de les màquines, fins a la seva renovació periòdica per envelliment), però en tot els casos, i en totes les etapes de fabricació del combustible nuclear, depenen del tipus de combustible que es fa servir per generar l'electricitat i el calor. L'electricitat es pot generar amb gas natural, amb unes emissions de CO<sub>2</sub> de 0,369 tones de CO<sub>2</sub> per KWh; amb tèrmiques de gas-oil, amb 0,547 tones de CO<sub>2</sub> per cada KWh generat; o en tèrmiques de carbó, amb unes emissions encara més elevades. En processos industrials com aquests, que consumeixen grans quantitats d'energia, aquestes diferències d'emissió no són insignificants; per aquest motiu s'analitzen dues variables, la més favorable és la producció amb tèrmiques de gas, però aquesta és una tecnologia recent; per això es necessari contrastar-la amb les dades d'emissió de les tèrmiques de gas-oil, una tecnologia més antiga i més estesa. Es descarta la producció hidroelèctrica (de nul·les emissions de CO<sub>2</sub>) i les tèrmiques de carbó (molt esteses arreu del món i d'altres

---

<sup>25</sup> Veure Foro Nuclear Español "EL ENRIQUECIMIENTO DEL URANIO" disponible en <http://www.foronuclear.es> i SOVACOOOL, B. K., "Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey" publicat a la revista Energy Policy, 2008, i disponible a <http://www.elsevier.com/locate/enpol>, pàg. 2947.

emissions) acotant les dades d'acord amb la premissa tercera de l'apartat 2.

Abans d'analitzar el cas d'Ascó 2 cal recordar les 5 variables principals del procés de fabricació del combustible. Les emissions de CO<sub>2</sub> d'una central nuclear dependran de...

- La major o menor riquesa del mineral: a menys riquesa més moviment de roques i més emissions de CO<sub>2</sub>.
- La major o menor duresa del mineral: si el mineral està en jaciments granítics cal més energia per triturar-lo i es generen més emissions de CO<sub>2</sub>.
- La major o menor concentració: una menor riquesa del mineral implica més quantitat de roques per fabricar el concentrat d'òxids d'urani (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).
- L'enriquiment mitjançant "difusió" o "centrifugat": el procediment de "difusió" consumeix aproximadament 60 vegades més energia que el de "centrifugat".
- Els combustibles que es fan servir per generar l'electricitat i el calor que requereix tot el procés de fabricació; fer servir gas natural, gas-oil o carbó incrementarà progressivament les emissions de CO<sub>2</sub> pel mateix procés.

## 5.2.- METODOLOGIA D'ANÀLISI DEL CAS IDEAL D'ASCÓ 2

S'ha partit de les 75 tones de combustible obtingudes d'un mineral del 0,294% de riquesa. Segons el full de càlcul Nuclear Fuel Energy Balance Calculator <sup>26</sup> (WISE), amb un mineral del 0,294%, la fabricació de les 75 tones de combustible requereix remoure 945.974,5 tones de roques, de les que s'obtidrien 189.194,90 tones de mineral d'Urani, que produirien 637,03 tones d'octòxid de triurani (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), a partir de les que s'obtidrien 794,94 tones d'hexafluorur d'urani (UF<sub>6</sub>) genèric, que permetrien fabricar les 98,77 tones d'UF<sub>6</sub> enriquit de les que, finalment, sortirien les 75 tones d'òxid d'urani (UO<sub>2</sub>) que són el combustible. El resum de les dades s'exposa al QUADRE 13.

Per calcular l'energia necessària per a cada etapa s'ha optat per seguir la metodologia detallada en els estudis de Jan Willem Storm van Leeuwen i Philip Smith, sobre les despeses energètiques del cicle nuclear <sup>27</sup> **"Nuclear Energy: the Energy Balance. Chapter 2. From ore to electricity. Energy production and uranium resources"**<sup>28</sup>.

---

<sup>26</sup> Veure <http://www.wise-uranium.org/nfce.html>

<sup>27</sup> Aquest estudi, disponible en Internet en <http://www.stormsmith.nl/>, té un cert nivell de controvèrsia malgrat la seva solidesa, ja que les dades sobre les que treballen aquests dos científics no són del gust de les institucions nuclears (veure <http://www.world-nuclear.org/info/inf11.html> com a mostra de crítica i, si es vol conèixer la resposta dels autors a aquesta crítica es pot trobar a [http://www.stormsmith.nl/report20050803/Rebuttal\\_WNA.pdf](http://www.stormsmith.nl/report20050803/Rebuttal_WNA.pdf)), el debat es va aturar aquí.

<sup>28</sup> Per a una avaluació del treball de Jan Willem Storm van Leeuwen i Philip Smith i la seva importància, veure SOVACOOOL, B. K. 2008.

## QUADRE 13: Materials

PROCÉS I SUBSTÀNCIA	LLOC	TONES	PRODUCTE
Moviment de roques i mineral	MINA D'URANI	945.974,50	mineral
Concentració d'U a U3O8	MOLÍ D'URANI	189.194,90	U3O8
Conversió del U3O8 en UF6	PLANTA CONVERSIÓ	637,03	UF6
Enriquiment del UF6. Centrifugació	PLANTA ENRIQUIMENT	794,94	UF6 enriquit
Fabricació del UO2 a partir del UF6	FABRICA COMBUSTIBLE	98,77	UO2
Fabricació dels elements (Juzbado)	FABRICA Juzbado	75,00	combustible

FONT: full de càlcul Nuclear Fuel Energy Balance Calculator

Jan Willem Storm van Leeuwen i Philip Smith (en endavant anomenats Storm&Smith) treballen amb un seguit de valors que resulten de càlculs de diversos estudis del cicle nuclear (entre 10 i 16 segons l'etapa de fabricació del combustible analitzada). Els que consideren més adients són els que resulten de l'estudi que anomenen ERDA-76-1<sup>29</sup>, que es nodreix de dades nord-americanes basades en un mineral resultant d'un percentatge d'extracció del 60% de mines a cel obert i un 40% de mines subterrànies, i que inclouen el consum energètic indirecte i l'energia incorporada en productes químics i equipaments<sup>30</sup>. En el seu estudi també prenen en consideració les dades relacionades amb la construcció de les centrals, del seu desballestament, i les de gestió dels residus d'alta activitat, que no tindrem en compte aquí.

El procés s'ha agrupat en cinc etapes: el moviment de mineral, el triturat i la barreja amb àcids per realitzar el refinat del U3O8, la conversió del U3O8 en UF6, l'enriquiment del UF6, i la fabricació de les pastilles de UO2 a partir del UF6. En tots els casos s'ha aplicat al consum energètic resultant la taxa d'emissió de CO2 més favorable. En el cas del consum d'energia tèrmica s'ha aplicat la taxa d'emissió del gas-oil (0,267 tones de CO2 per MWh); en el cas de l'electricitat s'ha partit del nivell d'emissió de les centrals tèrmiques de cicle combinat en funcionament amb gas (0,37 tones de CO2 per MWh). No tota la generació elèctrica que el cicle nuclear consumeix provindrà de centrals tèrmiques de cicle combinat, per això es plantejaran diverses variables en les conclusions.

<sup>29</sup> Storm&Smith realitzen, malgrat tot, una valoració crítica dels valors d'ERDA en el cas de la mineria (pàg. 3), encara que els fan servir com a referent prudent en els seus càlculs de l'energia de triturat (pàg. 5), conversió (pàg. 9), enriquiment pel procediment de difusió (pàg. 11) i fabricació del combustible (pàg. 12).

### 5.3. – UNA APLICACIÓ DE LES DADES D'ERDA 76 – 1 AL CAS D'ASCÓ 2

#### - EXTRACCIÓ I REFINAT DEL MATERIAL. PRODUCCIÓ DE MINERAL D'URANI CONCENTRAT

##### 5.3.1.- Mines:

Les dades de **consum energètic de l'extracció de mineral** d'ERDA-76-1 es basen en un percentatge de 60% d'extracció de mineral a cel obert, i un 40% de mineria subterrània. Les xifres detallades al QUADRE 13 poden diferir lleugerament en el cas d'Ascó 2, però són una referència vàlida per la diversificació del subministrament apuntat. El valor a aplicar són 0,261 MWh d'origen tèrmic, i 0,032 MWh d'origen elèctric per cada tona de material. El que significa un consum de 246.899,34 MWh d'energia tèrmica, i 30.271,18 MWh d'energia elèctrica. Aplicant un factor de emissió de 0,267 tones de CO<sub>2</sub> per MWh tèrmic i 0,37 tones per MWh elèctric, resulta una **emissió total de 77.092,19 tones de CO<sub>2</sub>**.

##### 5.3.2.- Triturat del material i concentració en U3O8.

Les dades de **consum energètic del triturat de mineral** d'ERDA-76-1 són de 0,572 MWh d'origen tèrmic, i 0,075 MWh d'origen elèctric per tona de mineral. Això implica un consum de 108.219,48 MWh d'energia tèrmica, i 14.189,62 MWh d'energia elèctrica. Aplicant el factor de emissió tèrmic i elèctric ja mencionat, resulta una **emissió total de 34.130,57 tones de CO<sub>2</sub>**.

#### - CONVERSIÓ DEL MINERAL D'URANI CONCENTRAT EN HEXAFLUORUR D'URANI

##### 5.3.3.- Planta de conversió (transformació del U3O8 en UF6).

Les dades de **consum energètic de conversió** d'ERDA-76-1 són de 395,9 MWh d'origen tèrmic, i 14,6 MWh d'origen elèctric per tona d'urani, les 637,6 tones resultants de U3O8 contenen 540,19 tones d'urani, el resultat és un consum de 213.861,10 MWh d'origen tèrmic, i 7.886,77 MWh d'origen elèctric. Les emissions de CO<sub>2</sub> resultants són de **60.011,13 tones de CO<sub>2</sub>**.

#### - ENRIQUIMENT DE L'HEXAFLUORUR D'URANI

##### 5.3.4.- Planta d'enriquiment (transformació de l'UF6 genèric en UF6 enriquit).

El **consum energètic de l'enriquiment** varia segons es segueixi una tècnica de difusió o de centrifugat. Storm & Smith es distancien de les dades de la WNA i consideren que

---

<sup>30</sup> Les referències a ERDA-76-1 i els documents base a <http://www.stormsmith.nl/report20050803/References.pdf> en aquest document Storm&Smith detallen les fonts de tots els seus càlculs.

l'enriquiment per centrifugat és menys costós en consum directe d'energia, però més elevat en costos de manteniment i operació, ja que, per exemple, la vida útil de les centrifugadores és curta. (pàg. 11).

ERDA-76-1 atorga un valor d' 11,00 GJ per cada UTS (Unitat Tècnica de Separació) en el procediment de difusió gasosa, amb una relació entre energia tèrmica i elèctrica de 0,083 (pàg. 10), un consum d'energia principalment elèctrica.

Storm & Smith parteixen del càlcul d'ERDA-76-1 per obtenir un valor per al **procés de centrifugació** a partir dels valors dels estudis de Kolb, Kistemaker i Mortimer, tres de les fonts que segueixen. El procediment dona un valor de 5,47 GJ per UTS, amb una relació de 0,51 entre energia elèctrica i tèrmica. Aclareixen que no es tracta d'un valor massa elevat, ja que Rotty i Kistemaker assumeixen un factor de càrrega de les centrifugadores del 100% cosa que no sempre passa.

Els 5,47 GJ per UTS, equivalen a 1,519 MWh per UTS. 1,006 MWh elèctrics, i 0,513 MWh tèrmics. Aquests valors, aplicats a les 302.567,8 UTS (dades del WISE) que es necessiten per a les 794,94 tones d'UF6 genèric, impliquen un consum de 304.460,24 MWh elèctrics i 155.274,72 MWh tèrmics; el que significa emetre **153.804,18 tones de CO2**.

## - FABRICACIÓ DEL COMBUSTIBLE

### 5.3.5.- Fabricació del combustible (transformació del UF6 en UO2)

Les dades de consum energètic del procés de fabricació del combustible d'ERDA-76-1 són de 3.792 GJ per tona d'urani, amb una relació de 2,5 entre energia tèrmica i elèctrica, el que signifiquen 752,38 MWh tèrmics i 300,95 MWh elèctrics per tona d'urani. Aquest valor s'aplica a les 66,7 tones d'urani (contingudes en les 98, 77 tones de UF6 enriquit), el que dona un consum de 50243,17 MWh tèrmics i 20097,27 MWh elèctrics, el que significa una **emissió total de 20.830,82 tones CO2**.

## 5.4.- EMISSIONS DE JUZBADO

### - La fabricació de les barres i els elements combustibles.

Un cop els òxids d'urani arriben a Juzbado s'ha de procedir a la fabricació de les barres de combustible i els elements en que es col·loquen. Els anuaris disponibles de l'empresa detallen la quantitat d'energia fòssil, en quilograms de combustible per tones de combustible d'urani fabricat; i d'energia elèctrica, en KWh per tona de combustible d'urani fabricada<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> Disponibles a <http://www.enusa.es/pub/comunicacion/memorias.html>

Calculant les mitges s'obtenen els resultats detallats al QUADRE 14.

#### QUADRE 14.- Juzbado i consum de combustible

CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE JUZBADO (en KWh per tona de combustible fabricat)						
	2004	2005	2006	MITJA Kg	KWh/kg combustible	KWh/tU
<b>Propano (kg/t-U)</b>	52,1	46,36	53,12	50,53	12,842	<b>648,84</b>
<b>Fuel-oil (kg/t-U)</b>	452,1	604,51	484,42	513,68	11,168	<b>5736,90</b>
<b>Gas-oil (kg/t-U)</b>	36,3	40,24	29,13	35,22	11,785	<b>415,12</b>
<b>TOTAL</b>						<b>6800,87</b>
CONSUMO ANUAL ELÉCTRICO JUZBADO (Kwh/t-U)						
	2004	2005	2006	MITJA		
	23045,3	35987	35857,12	<b>31629,81</b>		

FONT: Elaboració pròpia en base a les dades dels anuaris 2004, 2005 i 2006 d'ENUSA

Aplicant aquests valors a les 75 tones de combustible necessari, i fent servir els habituals factors d'emissió per a energia fòssil i elèctrica, resulten unes emissions de 875,35 tones de CO<sub>2</sub> pel consum elèctric i 136,19 tones pel consum de combustibles fòssils. És a dir **un total de 1.011,54 tones de CO<sub>2</sub>**.

#### 5.5.- Conclusions del cicle de fabricació del combustible.

Un cop analitzades les sis etapes de la fabricació del combustible el total de tones de CO<sub>2</sub> emeses és de **346.880,44**, remarcant que en tot moment s'han considerat valors mínims de consum d'energia i d'emissió de CO<sub>2</sub>. Per això s'analitzen també les tres variables enunciades a l'inici d'aquest apartat.

#### 5.6.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB LA RIQUESA DEL MINERAL.

El consum energètic i les emissions de CO<sub>2</sub> associades estan relacionades amb la riquesa del mineral, especialment a les primeres etapes: l'extracció i el triturat. Per exemple, traslladar **590.241 tones d'U3O8** (la quantitat necessària per fabricar les 540 tones d'UF<sub>6</sub> amb una **riquesa del 0,1%**), implica consumir menys i emetre menys que traslladar-ne **1.084.748 tones** del mateix compost (el que es necessita per obtenir les mateixes 540 tones d'UF<sub>6</sub> amb una **riquesa del 0,057%**). **El canvi en la riquesa del mineral (d'aproximadament un 50%) significa desplaçar i tractar un 84% més de material.** No s'han considerat en aquest anàlisi les dades de consum energètic dels moviments interns de materials ni les variables relacionades amb la duresa. Els resultats s'han calculat a partir de les dades de riquesa de les mines amb les que habitualment comercia ENUSA, i que estan per sota del cas ideal d'Ascó 2 treballat amb ERDA-76-1 (0,294%). El QUADRE 15 és una síntesi parcial de les dades de cadascuna de les hipòtesis presentades a l'**ANNEX 3**.

El QUADRE 14, mostra com la disminució de la riquesa del mineral d'urani implica l'augment del volum de material a remoure, l'increment del consum energètic necessari per processar-lo i el lògic increment de CO<sub>2</sub>. Aquest increment pot arribar a nivells molt elevats, Manfred

Lenzen, que ha fet un estudi sobre el consum d'energia i les emissions de CO2 en el cicle de vida de l'energia nuclear, apunta que el consum energètic per tona d'U3O8 en minerals amb una riquesa inferior al 0,01%.<sup>32</sup> pot superar els 100.000 GJ (27.777,7 Mwh),

#### QUADRE 15.- Emissions del material necessari per obtenir les 540,19 tones d'UF6.

	Tones	CONSUM MWh (tèrmics + elèctrics)	emisió tones de CO2	TOTAL TONES DE CO2
Cas ideal Ascó 2: Mina - Moviment de mineral	945.974,50	277.170,53	77.092,19	
Cas ideal Ascó 2: Triturat – Concentració d'U a U3O10	189.194,90	122.409,10	34.130,57	
<b>Cas ideal Ascó 2: Mineral amb riquesa 0,294%</b>				<b>111.222,76</b>
Rússia - Austràlia: Mina – Moviment de mineral	2.951.205,00	864.703,07	240.508,45	
Rússia - Austràlia: Triturat – Concentració d'U a U3O10	590.241,00	381.885,93	106.478,89	
<b>Rússia – Austràlia: Mineral amb riquesa 0,1%</b>				<b>346.987,34</b>
Namíbia: Mina - Moviment de mineral	4.482.424,00	1.313.350,23	365.295,14	
Namíbia: Triturat – Concentració d'U a U3O10	896.484,70	580.025,60	161.724,94	
<b>Namíbia: Mineral amb riquesa 0,068%</b>				<b>527.020,09</b>
Kazajstan: Mina – Moviment de mineral	5.423.738,00	1.589.155,23	442.007,53	
Kazajstan: Triturat – Concentració d'U a U3O10	1.084.748,00	701.831,96	195.687,45	
<b>Kazajstan: Mineral amb riquesa 0,057%</b>				<b>637.694,98</b>

FONT : Elaboració pròpia en base a les dades de la WNA i WISE

Cal recordar que, cara al futur, la quantitat d'energia i el volum d'emissions s'incrementaran a mesura que es vagin exhaurint els dipòsits amb una major riquesa.

#### 5.7.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB EL PROCEDIMENT D'ENRIQUIMENT

Amb les diferències de consum energètic directe dels procediments de difusió i centrifugació (2400 kWh / UTS o 40kWh / UTS, respectivament) les diferències d'emissió per obtenir les 537,49 tones d'urani que formen el UF6 enriquit resulten evidents. En el QUADRE 16 es mostren sense diferenciar el consum de calor i electricitat, ja que les fonts respectives (WNA – Foro Nuclear i SOVACOOOL 2008) no detallen la proporció de cada energia, encara que segons els valors d'ERDA-76-1 l'energia emprada és majoritàriament elèctrica.

#### QUADRE 16.- Diferències d'emissió entre enriquiment per difusió o centrifugat.

VARIABLE DIFUSIÓ O CENTRIFUGAT EN L'ENRIQUIMENT	UTS	kWh / UTS	consum MWh	Factor d'emissió tones CO2/MWh	tones CO2
Enriquiment del UF6. DIFUSIÓ	302567,8	2400	726162,72	0,37	<b>267.954,04</b>
Enriquiment del UF6. CENTRIFUGACIÓ	302567,8	40	12102,71	0,37	<b>4.465,90</b>

FONT: elaboració pròpia en base a WISE, WNA, Foro Nuclear i dades de Sovacool 2008.

<sup>32</sup> Veure Lenzen, Manfred. "Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review", en Science Direct. Energy Conversion and Management. Disponible a [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Figura 6. pàg. 2181. Cal remarcar la importància d'aquest article en quant a síntesi crítica de tots els estudis realitzats.

La diferència entre els valors de d'aquest quadre i els que s'obtenen en l'apartat 5.3.4 provenen de que els valors d'Storm&Smith tenen en compte l'energia incorporada en el funcionament i manteniment de les centrifugadores, aquí només s'analitza el consum d'energia directa del procés d'enriquiment.

## 5.8.- LES VARIABLES RELACIONADES AMB EL TIPUS DE GENERACIÓ ELÈCTRICA.

Totes les etapes de la fabricació consumeixen grans quantitats d'electricitat (379.277,32 MWh en el cas ideal d'Ascó 2), el que aquesta energia provingui de tecnologies de generació més baixes en emissions de CO<sub>2</sub>, com seria el cas de la centrals tèrmiques de cycle combinat, o més elevades, com seria el cas del les centrals tèrmiques de gas-oil, suposa un altre factor d'increment de les emissions de CO<sub>2</sub> de l'energia nuclear. No s'ha considerat la generació amb tèrmiques de carbó, que donaria valors encara més elevats.

### QUADRE 17.- Diferències d'emissió amb electricitat generada amb gas-oil.

<b>A.- A la difusió i la centrifugació</b>	<b>UTS</b>	<b>consum MWh</b>	<b>Tones CO<sub>2</sub>/MWh</b>	<b>TOTAL TONES DE CO<sub>2</sub></b>
Enriquiment del UF6. DIFUSIÓ	302567,8	726162,72	0,5475	<b>397.574,0892</b>
Enriquiment del UF6. CENTRIFUGACIÓ	302567,8	12102,712	0,5475	<b>6.626,23482</b>
<b>B.- A la mineria i el triturat</b>	<b>Tones</b>	<b>MWh (tèrmics + elèctrics)</b>	<b>Tones CO<sub>2</sub>/MWh</b>	<b>TOTAL TONES DE CO<sub>2</sub></b>
Mineral amb riquesa 0,294% MODEL: Mina - Moviment de mineral	945974,5	277170,5285	82495,59822	
Mineral amb riquesa 0,294% MODEL: Triturat - Concentració d'U a U3O10	189194,9	122409,1003	36663,41749	<b>119.159,0157</b>
Mineral amb riquesa 0,1% Rússia - Austràlia: Mina - Moviment de mineral	2951205	864703,065	257365,7344	
Mineral amb riquesa 0,1% Rússia - Austràlia: Triturat - Concentració d'U a U3O10	590241	381885,927	114380,7375	<b>371.746,472</b>
Mineral amb riquesa 0,068% Namíbia: Mina - Moviment de mineral	4482424	1313350,232	390898,7498	
Mineral amb riquesa 0,068% Namíbia: Triturat - Concentració d'U a U3O10	896484,7	580025,6009	173726,6323	<b>564.625,3821</b>
Mineral amb riquesa 0,057% Kazajstan: Mina - Moviment de mineral	5423738	1589155,234	472987,9198	
Mineral amb riquesa 0,057% Kazajstan: Triturat - Concentració d'U a U3O10	1084748	701831,956	210209,5183	<b>683.197,4381</b>

FONT: elaboració pròpia en base a WISE, WNA, i Memòria Resum CTCC Port de Barcelona.

En el QUADRE 17 s'ha analitzat l'increment que representaria generar l'energia elèctrica de la mineria, el triturat, i l'enriquiment amb gas-oil. El contrast amb les dades del QUADRE 15 i el QUADRE 16 és il·lustratiu.

En la mineria i el triturat l'increment d'emissió mínim seria de 7000 tones més, i el màxim de 45.000 més. En l'enriquiment seria de 2000 tones més, i el màxim de 129.000 més.

## 6.- EL CONSUM ENERGÈTIC DE LA PRÒPIA CENTRAL NUCLEAR D'ASCÓ 2

Encara que una central nuclear és una fàbrica d'energia, els consums energètics derivats de la seva operació, refrigeració, manteniment, posta a punt, substitució de mecanismes (en el cas d'Ascó2, els generadors de vapor, les tapes del reactor i altres operacions), i un seguit de tasques necessàries pel seu funcionament, també impliquen unes emissions de CO<sub>2</sub> associades.

Resulta impossible obtenir dades del consum energètic directe del funcionament d'Ascó 2, per això s'han fet servir els índexs recollits per Manfred Lenzen, que es basen en els estudis de tres dels investigadors analitzats per Storm & Smith (Rotty RM, Perry AM i Reister DB.). Encara que Storm & Smith també calculen aquestes emissions, els seus valors s'han considerat massa elevats, ja que adjudiquen una despesa de 3,2 PJ (888,8 GWh) per cada 300 dies de funcionament. Les dades recollides per Lenzen <sup>33</sup>, adjudiquen, en canvi, un consum de 8,5 GWh d'energia elèctrica i 80 GWh d'energia tèrmica per any de funcionament per a reactors d'aigua lleugera. Amb un funcionament de 55 mesos fins a la renovació total del combustible, això implica un consum mínim de 398.250 MWh amb una **emissió total de 110.234,25 tones de CO<sub>2</sub>**.

---

<sup>33</sup> Veure Lenzen, Manfred. "Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review", en Science Direct. Energy Conversion and Management. Disponible a <http://www.sciencedirect.com>, pàg. 2184. La referència [17] condueix als treballs de Rotty RM, Perry AM, Reister DB. Net energy from nuclear power. IEA Report IEA-75-3. Oak Ridge, TN, USA: Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, 1975.

## **7.- LES EMISSIONS DE CO2 DE LA CENTRAL NUCLEAR D'ASCÓ 2.**

L'energia nuclear no està "lliure de CO2", ni tampoc "no provoca gasos que incrementin l'efecte hivernacle". Les conclusions que sorgeixen de les dades de càlcul d'aquest apartat (detallades a l'ANNEX 4) es poden resumir en set punts:

a.- El funcionament de la central nuclear d'Ascó 2 amb una càrrega completa de combustible va generar un mínim de 457.995,56 tones de CO2. Aquesta seria la hipòtesi més favorable basada en condicions ideals, però cal tenir en compte diverses variables.

b.- Si en les operacions de fabricació del combustible (especialment les de mineria i triturat) l'electricitat s'hagués generat amb gas-oil, les seva emissió seria d'un mínim de 525.696,56 tones de CO2, es a dir, 67.000 tones més.

c.- Mantenint la hipòtesi més favorable, però considerant que l'urani provingués d'un mineral amb una riquesa del 0,1% (com el que actualment s'obté de les mines de Rússia o Austràlia), les emissions serien de 693.760,13 tones de CO2; i si en tot el procés de fabricació s'hagués fet servir electricitat generada amb tèrmiques de gas-oil, les emissions serien de 778.284,01 tones.

d.- Com en el cas anterior, però considerant que l'urani provingués de mines amb una riquesa del 0,068% (com les explotacions actuals de Namíbia), les emissions serien de 873.792,88 tones de CO2, que pujarien a 971.162,92 tones si s'obtingués l'electricitat d'una tèrmica de gas-oil.

e.- I si, finalment, el mineral d'urani tingués una riquesa del 0,057% (com les mines que s'exploten al Kazajstan), les emissions serien de 984.467,78 tones de CO2, que augmentarien a 1.089.734,98 tones amb electricitat de tèrmiques de gas-oil.

f.- Els anuaris del CSN assenyalen el Regne Unit com a país d'origen del combustible nuclear que es fa servir a les centrals espanyoles, però resulta difícil saber si aquest combustible s'ha fabricat totalment amb tècniques de centrifugat o de difusió, o si prové parcialment d'una o de l'altra tècnica. L'Empresa Nacional de l'Urani (ENUSA) informa de que manté una relació comercial preferent amb Westinghouse, que és propietària d'una planta d'enriquiment al Regne Unit, i d'una altra als EE.UU. Tenint en compte que les plantes que fan servir la tècnica d'enriquiment per difusió no han tancat, i que resulta impossible conèixer l'origen exacte de cada pastilla d'òxid d'urani; no es pot descartar que, a diferència de la hipòtesi ideal que s'ha fet servir en el càlcul id'Ascó 2, en la que s'ha suposat que tot el combustible es fabricava amb tècniques de centrifugat, la totalitat o una part s'hagués fabricat amb tècniques de difusió.

Per tant, seria prudent afegir un mínim de 250.000 tones més de CO<sub>2</sub> al funcionament d'Ascó 2 si l'urani s'enriquís amb tècniques de difusió gasosa, i unes 125.000 tones més si s'hagués fet servir electricitat generada amb tèrmiques de gas-oil en el procés d'enriquiment.

Un altre aspecte a considerar és la quantia de les emissions de CO<sub>2</sub> per unitat de producció d'energia el que, en referència al que s'ha exposat a l'apartat 3, implica tenir una dada de producció de referència.

g.- Molt sovint es fa referència a la baixa emissió de CO<sub>2</sub> de l'energia nuclear per quilovat - hora generat. D'entrada cal determinar quina és la quantitat exacta d'energia generada per una càrrega de combustible nuclear, ja que, com es va analitzar a l'apartat 3, la producció total podia ser de 37.563,78 GWh, de 33.039,5 GWh, o de 29.500 GWh. Segons aquest valor, i segons les variables contemplades en els punts anteriors, les emissions poden anar des d'un mínim de 12,2 Kg de CO<sub>2</sub> per MWh, a un màxim de 36,9 quilograms de CO<sub>2</sub> per MWh, quantitat que s'incrementaria fins als 45 i els 49 quilograms per MWh, en cas de que l'urani s'enriquís amb tècniques de difusió i es fes servir gas-oil per generar electricitat. El detall dels càlculs es pot veure a l'**ANNEX 4**.

Aquestes quantitats, fins i tot les més elevades, són inferiors a les generades amb combustibles fòssils, ja que la Taxa de Retorn Energètic (TRE) del combustible d'urani és la més elevada de tots els tipus de combustibles de generació energètica. Això compensa altres limitacions d'aquesta tecnologia com, per exemple, la manca d'eficiència de les nuclears front a les centrals tèrmiques de cicle combinat. L'argument de la TRE, però, no es pot elevar a la categoria de valor absolut, ja que els impactes que provoquen les nuclears en la salut humana i en els ecosistemes també són els més elevats de tots els tipus de generació energètica.

Un altre aspecte seria la comprovació de que l'energia nuclear superaria a totes les tecnologies d'energies renovables en emissions de CO<sub>2</sub> <sup>34</sup>, però aquest aspecte requeriria un altre anàlisi.

Així, les dues conclusions finals serien: la mentida que suposa presentar l'energia nuclear com a neta en quant a emissions de CO<sub>2</sub>, i l'absurd que implica, des de qualsevol punt de vista, prendre la TRE com a únic valor a l'hora de considerar una tecnologia de generació elèctrica.

---

<sup>34</sup> Veure SOVACOOOL, 2008. pàg. 2950

## 8.- BIBLIOGRAFIA

La major part de la bibliografia consultada en l'anàlisi apareix citada al llarg del text; no obstant, cal fer referència obligada a un seguit de pàgines web informatives d'interès, per a una visió en detall de l'energia nuclear, la seva propaganda i la seva crítica. S'acompanya cada enllaç amb una referència breu. En algun cas es cita la presentació de la pròpia pàgina. Algunes de les pàgines funcionen amb el sistema de subscripció, es a dir, exigeixen inscripció i identificació per facilitar-hi dades.

A partir de la pàgina d'enllaços a webs de cadascuna d'aquestes pàgines es pot ampliar la recerca a nivells cada cop més amplis.

1) [PRIS Home Page](http://www.iaea.org/programmes/a2/) - <http://www.iaea.org/programmes/a2/>

This page will guide you through the Power Reactor Information System (PRIS) database, widely considered to be the most authoritative data base on nuclear power reactors. It contains information on operating experience of worldwide nuclear power plants. PRIS contains information on operating experience of nuclear power plants worldwide. Within the PRIS home page you will find information on the contents of the database, its associated publications and services to IAEA Member States. You can also view the latest information on the status of nuclear power plants and statistics on availability of nuclear power plants worldwide.

2) [International Atomic Energy Agency \(IAEA\)](http://www.iaea.org/index.html) - <http://www.iaea.org/index.html>

No calen comentaris.

3) [Energy Balances and CO2 Implications](http://www.world-nuclear.org/info/inf100.html) - <http://www.world-nuclear.org/info/inf100.html>

The World Nuclear Association is the global private-sector organization that seeks to promote and provide information on nuclear power, nuclear energy, nuclear power, Chernobyl, , uranium, nuclear power plants, radiation, nuclear energy information, nuclear news, nuclear option, nuclear power plant, nuclear reactors, nuclear consultancy, nuclear plants, nuclear waste disposal

4) [World Nuclear Association | Search Options.](http://www.world-nuclear.org/wgs/decom/database/php/reactorsdb_index.php)

[http://www.world-nuclear.org/wgs/decom/database/php/reactorsdb\\_index.php](http://www.world-nuclear.org/wgs/decom/database/php/reactorsdb_index.php)

Cercador útil per obtenir informacions genèriques.

5) [Nuclear Engineering International](http://www.neimagazine.com/) - <http://www.neimagazine.com/>

Nuclear Engineering International provides news and information for the worldwide nuclear power industry

6) [UIC - Uranium&Nuclear Power Information Centre](http://www.uic.com.au/) - <http://www.uic.com.au/>

The UIC web site is to assist public understanding of uranium mining and nuclear electricity generation.

7) [UIC briefing papers](http://www.uic.com.au/nip.htm) - <http://www.uic.com.au/nip.htm>

The UIC web site is to assist public understanding of uranium mining and nuclear electricity generation.

8) [World Nuclear Association - Transport of Radioactive Materials | What is carried? and how? | Transport of uranium fuel assemblies](http://www.world-nuclear-university.org/transport/html/what_is_carried/uranium_fuel_assemblies.htm)

[http://www.world-nuclear-university.org/transport/html/what\\_is\\_carried/uranium\\_fuel\\_assemblies.htm](http://www.world-nuclear-university.org/transport/html/what_is_carried/uranium_fuel_assemblies.htm)

Pàgina sobre el transport de residus radioactius d'alta activitat i les complexitats implicades.

9) [Ciclo del combustible nuclear - Wikipedia, la enciclopedia libre](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_combustible_nuclear#Carga_de_Reactores).

[http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_del\\_combustible\\_nuclear#Carga\\_de\\_Reactores](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_combustible_nuclear#Carga_de_Reactores)

Informació bàsica en clau bastant favorable a les nuclears.

10) [IGME - Uranio](http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/minerales/uranio03.htm) .

<http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/minerales/uranio03.htm>

Referències ja antigues del comerç d'urani a Espanya.

11) [IGME](http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/minerales/uranio03.htm) .

<http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/minerales/uranio03.htm>

Pàgina per comprovar que el comerç d'urani no es caracteritza precisament per la seva transparència informativa.

12) [Instalaciones Nucleares y Radiactivas - Combustible Nuclear](http://www.mityc.es/Nuclear/Seccion/Combustible/)

<http://www.mityc.es/Nuclear/Seccion/Combustible/>

Instalaciones Nucleares y Radiactivas - Secciones - Combustible Nuclear - Combustible Nuclear. Idees bàsiques.

13) [Fisica y Sociedad / Radiaciones ionizantes / Definiciones y conceptos / Usos y aplicaciones](http://www.fisicaysociedad.es/view/default.asp?cat=548)

<http://www.fisicaysociedad.es/view/default.asp?cat=548>

Divulgació universitària en clau favorable a l'energia nuclear.

14) [World Nuclear Fuel Facilities](http://www.wise-uranium.org/efac.html) - <http://www.wise-uranium.org/efac.html>.

Informació del WISE sobre el subministrament de combustible nuclear al món.

15) [EURODIF Company Links](http://www.wise-uranium.org/eceud.html) - <http://www.wise-uranium.org/eceud.html> .

Informacions genèriques del WISE a nivell europeu.

16) [ELPAIS.com - Animació](http://www.elpais.com/fotogalerias/popup_animacion.html?xref=20051202elpepusoc_1)

[http://www.elpais.com/fotogalerias/popup\\_animacion.html?xref=20051202elpepusoc\\_1](http://www.elpais.com/fotogalerias/popup_animacion.html?xref=20051202elpepusoc_1)

Interessant animació, ja comentada sobre la que es poden fer càlculs que ajuden a reflexionar.

17) [Enusa - Industrias Avanzadas](http://www.enusa.es/pub/ciclocombustible.htm) - <http://www.enusa.es/pub/ciclocombustible.htm> .

Pàgina de l'Empresa Nacional de l'Urani.

18) [Our Work: Nuclear Fuel Cycle and Materials Section](http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_rawmaterials.html) .

[http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms\\_rawmaterials.html](http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_rawmaterials.html)

Animacions i imatges molt maques de la Associació Internacional d'Energia Atòmica, amb poca informació consistent.

19) [NRC: Home Page](http://www.nrc.gov/) - <http://www.nrc.gov/> .

L'equivalent nord americà del CSN. Molt més rigorós.

20) [The WISE Uranium Project Calculators!](http://www.wise-uranium.org/calc.html) - <http://www.wise-uranium.org/calc.html> .

Pàgina imprescindible per conèixer en detall el que hi ha darrera de les nuclears.

Impressionant en investigació i anàlisi.

21) [World Nuclear Association: References](http://www.world-nuclear.org/reference/portal/nuclear_trade_industry.html) -

[http://www.world-nuclear.org/reference/portal/nuclear\\_trade\\_industry.html](http://www.world-nuclear.org/reference/portal/nuclear_trade_industry.html) .

World Nuclear Association is the global private-sector organization that seeks to promote and provide information on nuclear power, nuclear energy, nuclear power, Chernobyl, , uranium, nuclear power plants, radiation, nuclear energy information, nuclear news, nuclear option, nuclear power plant, nuclear reactors, nuclear consultancy, nuclear plants, nuclear waste disposal

22) [Mineral Resources Forum \(MRF\) - Home Page](http://www.natural-resources.org/minerals/index.htm) -

<http://www.natural-resources.org/minerals/index.htm> .

Interessant per conèixer les complexitats de la mineria (urani inclòs).

23) [TradeTech-Uranium.Info](http://www.uranium.info/index.html) - <http://www.uranium.info/index.html>

TradeTech and its predecessor NUEXCO have been publishing uranium market prices [uranium (U3O8), conversion, SWU] since the inception of the commercial nuclear fuel (uranium) market in 1968. TradeTech's uranium price indicators are accepted as the standard pricing in the international nuclear fuel market. Prices are published in The Nuclear Review and Nuclear Market Review, the leading publications in the nuclear fuel market. TradeTech is a uranium consultant.

24) [C.S.C.- Base de datos de Comercio Exterior](http://aduanas.cameras.org/) - <http://aduanas.cameras.org/> .

En la que hi ha poques referències a l'urani.

25) [United Kingdom](http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/commodity/uk/home.html) - <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/commodity/uk/home.html>

Commodity statistics United Kingdom. Dades estadístiques sobre minerals com les que haurien d'existir a Catalunya i Espanya.

## 10.- ANNEXES

### ANNEX 1.- QUINA ÉS LA VERITABLE PRODUCCIÓ ENERGÈTICA D'UNA CÀRREGA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR?

#### A.- Càlcul a partir de les dades de la producció elèctrica d'Ascó 2 segons UNESA

DADES UNESA	2001	2002	2003	2004	2005	
GWh						
gener	754,4	<b>760,27</b>	<b>762,8</b>	<b>761,37</b>	<b>736,2</b>	
febrer	519,25	<b>686,27</b>	<b>688,68</b>	<b>640,86</b>	<b>678,05</b>	
març	<b>214,24</b>	<b>760,31</b>	<b>760,58</b>	<b>222,54</b>	<b>749,07</b>	
abril	<b>736,95</b>	<b>736,92</b>	<b>714,45</b>	<b>451</b>	<b>587,65</b>	
maig	<b>752,33</b>	<b>761,24</b>	<b>761,86</b>	<b>758,19</b>	<b>748,04</b>	
juny	<b>727,8</b>	<b>733,51</b>	<b>728,14</b>	<b>691,38</b>	<b>718,83</b>	
juliol	<b>749,83</b>	<b>716,58</b>	<b>749,84</b>	<b>753,36</b>	<b>740,16</b>	
agost	<b>747,09</b>	<b>662,61</b>	<b>744,44</b>	<b>752,33</b>	<b>741,18</b>	
setembre	<b>731,32</b>	<b>119,83</b>	<b>724,11</b>	<b>727,42</b>	<b>701,64</b>	
octubre	<b>728,75</b>	<b>737,88</b>	<b>755,24</b>	<b>523,67</b>	0	
novembre	<b>735,61</b>	<b>733,26</b>	<b>735,46</b>	<b>552,85</b>	<b>609,79</b>	
desembre	<b>761,87</b>	<b>742,93</b>	<b>761,86</b>	<b>403,13</b>	760,15	
TOTAL	8159,44	8151,61	8887,46	7238,1	7770,76	
TOTAL RECÀRREGA	<b>6885,79</b>	<b>8151,61</b>	<b>8887,46</b>	<b>7238,1</b>	<b>6400,82</b>	<b>37563,78</b>

FONT: Anuaris UNESA

#### TOTAL PRODUCCIÓ ASCÓ 2 : 37.563 GWh.

Les dades en vermell indiquen la recàrrega de combustible. Entre 2001 i 2004 es substitueix la totalitat del combustible del reactor.

PROBLEMA: Aquestes dades inclouen la producció de dos terços de les antigues barres entre març 2001 i setembre 2002, i d'un terç de les antigues barres entre setembre 2002 i abril 2004. La producció està sobredimensionada.

#### B.- Càlcul a partir de les indicacions de Westinghouse (empresa fabricant del combustible).

pellet = pastilla de combustible que forma les barres de l'element combustible.

"one pellet equals 2,000 lbs of coal" diu a la diapositiva 35 de la presentació **Nuclear Energy and Radiation!**, realitzada el 3 de Novembre del 2007 pel senyor **Larry R. Foulkx. Director of Nuclear Programs, University of Pittsburgh** en el curs de la seva **Presentation to the Westinghouse Science Honors Institute**, disponible en [http://www.westinghousenuclear.com/Community/WSHI/11\\_07.pdf](http://www.westinghousenuclear.com/Community/WSHI/11_07.pdf)

1 libra = 0,453592909 kg

1 pellet = 907,185818 kg de carbón

Westinghouse, per la seva part, diu "**A typical PWR contains 193 fuel assemblies, nearly 51,000 fuel rods and approximately 18,000,000 UO2 fuel pellets**". Informació disponible a <http://www.westinghousenuclear.com>

Per tant, 1 element combustible Ascó = 92.928 pastilles o pellets

Ascó 2 = 157 elements combustibles.

1 càrrega completa de Ascó 2 = 14.589.696 pastilles o pellets

PCI carbó importació = 25,53 GJ/t (dada obtinguda dels càlculs d'emissions de CO2 de la UE)

PCI carbó importació = 0,02553 GJ/kg

1 pellet = 23,16045393354 GJ

Ascó 2 = 337903982,11235280384 GJ

1GJ = 0,2777777778 MWh

Ascó 2 = 93862217,260940311780274506752 MWh tèrmics  
Ascó 2 = 93862,217260940311780274506752 GWh tèrmics  
Ascó 2 Potència elèctrica nominal bruta 1.027 Mwe  
Ascó 2 Potència tèrmica 2.912 MWt  
Relación PE/PT = 35,2%  
Ascó 2 = 33039,500475850989746656626376704 GWh elèctrics  
Ascó 2 = 33039,5 GWh elèctrics.

### **TOTAL PRODUCCIÓ ASCÓ 2 : 33.039 GWh.**

PROBLEMA: Les dades són genèriques i indicatives, pot haver un marge d'error en el càlcul. Per exemple: no s'ha trobat informació exacta de quantes pastilles hi ha en una barra dels elements combustibles 17 x 17 MAEF, que són els que ENUSA fabrica per a Ascó 2.

### **C.- Càlcul a partir de les indicacions del Foro Nuclear (l'auto - anomenat "Foro de la industria nuclear española").**

"Una pastilla de combustible es un cilindro de aproximadamente un centímetro de altura por un centímetro de diámetro y cinco gramos de peso, con la que se puede producir la energía equivalente a **810 kilos de carbón**, 565 litros de petróleo ó 480 metros cúbicos de gas natural."

Publicació: **ENERGÍA NUCLEAR, EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA**, Foro Nuclear, pàg. 6.  
Disponible a: <http://www.foronuclear.es>

1 pellet (pastilla) = 810 kg de carbó  
1 element combustible Ascó = 92928 pastilles o pellets  
Ascó 2 = 157 elements combustibles.  
1 càrrega completa d'Ascó 2 = 14589696 pellets  
PCI carbó importació = 25,53 GJ/t (dada obtinguda dels càlculs d'emissions de CO2 de la UE)  
PCI carbó importació = 0,02553 GJ/kg  
1 pellet = 20,6793 GJ  
Ascó 2 = 301704700,4928 GJ  
1GJ = 0,2777777778 MWh  
Ascó 2 = 83806861,25470454889984 MWh tèrmics  
Ascó 2 = 83806,86125470454889984 GWh tèrmics  
Ascó 2 Potència elèctrica nominal bruta 1.027 Mwe  
Ascó 2 Potència tèrmica 2.912 MWt  
Relación PE/PT = 35,2%  
Ascó 2 = 29500,01516165600121274368 GWh elèctrics  
Ascó 2 = 29500 GWh elèctrics

### **TOTAL PRODUCCIÓ ASCÓ 2 : 29.500 GWh.**

PROBLEMA: Com en el cas anterior, les dades són genèriques i indicatives.

### **D.- Càlcul inútil, que demostra fins a quin punt els grups de pressió pro-nuclears ofereixen una informació poc rigorosa.**

En la pàgina 12 de l'informe 2001 del Foro Nuclear apareix una il·lustració en que sota la indicació "**Potencialidad de los diferentes combustibles:**" els redactors informen de que "**1 kg de Uranio genera 50.000 kWh**".

La fe en les aparents grans xifres porta a la reproducció acrítica. Així, aquesta dada apareix repetida en l'article "La gobernanza y la energía nuclear", de Juan E. Iranzo. Director General. Instituto de Estudios Económicos. Catedrático de Economía Aplicada. Publicat a "Cuadernos de Energía. Número 21. junio 2008" publicació del Club Español de la Energía, Abogados Garrigues i Deloitte.

Fets els càlculs bàsics a partir de les 75 tones d'una càrrega completa de combustible nuclear, i assumint a favor dels redactors que quan diuen "urani" es refereixen al òxid d'urani i no al contingut d'urani de l'element combustible (que és inferior), **la producció d'una càrrega completa de combustible seria tan sols de 3750 GWh.**

**Amb aquesta producció una càrrega completa de combustible generaria, en funció de la riquesa del mineral d'urani, entre un mínim de 140 quilograms de CO2 per MWh i un màxim de 290 Kg de CO2 per MWh; gairebé tant com una Central Tèrmica de Cicle Combinat, i això sense comptar amb les emissions del seu cicle de vida complet.**

PROBLEMA: AQUEST CÀLCUL ES DESCARTA PEL POC RIGOR EN LA INFORMACIÓ AL PÚBLIC.

Nota : El llavors president del Foro Nuclear era el senyor Eduardo González.

## **ANNEX 2.- COMPARATIVA DE MATERIALS ENTRE ELS CÀLCULS DEL WISE I L'ANIMACIÓ QUE PUBLICA EL DIARI EL "EL PAÍS".**

Nota: un exercici d'anàlisi interessant seria investigar la coherència del que "El País" diu a la seva animació (la indústria nuclear no ho ha desmentit) i el consum energètic i les emissions associades a la seva concepció del cicle. La TRE resultaria negativa per a les nuclears, la taxa d'emissió superaria les de qualsevol tipus de tèrmica.

El problema és que resulta impossible realitzar càlculs fiables sobre el consum d'energia i emissions de CO2 relacionades amb aquesta taula ja que l'animació no dona dades de la riquesa del jaciment del que s'extrau l'urani.

<b>CICLE COMBUSTIBLE NUCLEAR ANIMACIÓ DE "El País"</b>	TONES IMPLICADES	factors de conversió
Mines d'Urani. Total de mineral	5.000.000	
mineral d'U	50.000	100,00
Fàbrica concentració d'Urani U3O8	170	294,12
Planta conversió UF6	24,00	7,08
Planta enriquiment UF6	0,72	33,33
Planta fabricació combustible (factor conversió del WISE)	0,558	1,29

### **FONT : Animació de "El País"**

<b>ETAPES COMBUSTIBLE d'Ascó 2 CÀLCULS de "El País"</b>	factor de conversió	<b>TONES RESULTANTS</b>
Moviment de mineral	100,00	<b>669.468.810,92</b>
Concentració d'U a U3O8	294,12	<b>6.694.688,11</b>
Conversió del U3O8 en UF6	7,08	<b>22.761,94</b>
Enriquiment del UF6	33,33	<b>3.213,45</b>
Fabricació del UO2 a partir del UF6 (factor conversió del WISE)	1,29	<b>96,40</b>
<b>Urani anual d'Ascó 2 (tones UO2)</b>		<b>75</b>

Font: [ELPAIS.com](http://ELPAIS.com) - Animació . L'única dada que falta en l'animació de "El País" s'ha obtingut d'un informe de Grup de Científics i Tècnics per un Futur No Nuclear a partir de les calculadores del WISE.

### ANNEX 3.- VARIABLES DE CONSUM I GENERACIÓ DE CO2 EN FUNCIÓ DE LA RIQUESA DEL MINERAL.

Riquesa 0,294% (cas ideal)	TONES	ERDA 76-1	UNITAT	VALOR MWh/tona	CONSUM MWh	factor de emissió tCO2/MWh	EMISSIÓ TOTAL tones CO2
Moviment de mineral	945.974,5	0,26	MWht / tona		246.899,3	0,267	65.922,1
Moviment de mineral	945.974,5	0,03	MWhte/ tona		30.271,2	0,369	11.170,1
Concentració d'U a U3O8	189.194,9	0,57	MWht / tona		108.219,5	0,267	28.894,6
Concentració d'U a U3O8	189.194,9	0,08	MWhte/ tona		14.189,6	0,369	5.236,0
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	395,90	MWht / tona		213.861,1	0,267	57.100,9
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	14,60	MWhe / tona		7.886,8	0,369	2.910,2
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	1,0062546	304.460,2	0,369	112.345,8
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	0,51318985	155.274,7	0,267	41.458,4
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWt/T	752,380952	50.243,2	0,267	13.414,9
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWe/T	300,952381	20.097,3	0,369	7.415,9
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWhe/ tona	31,6298067	2.372,2	0,369	875,4
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWht / tona	6,80086559	510,1	0,267	136,2
funcionament Ascó 2 Gwhe / any	4,5 anys	8,50	4,5	38,25	38.250,0	0,369	14.114,3
funcionament Ascó 2 GWth / any	4,5 anys	80,00	4,5	360	360.000,0	0,267	96.120,0
<b>TOTAL</b>					<b>1.552.535,2</b>		<b>457.114,7</b>
<b>Riquesa 0,1% - Austràlia , Rússia</b>							
Moviment de mineral	2.951.205,0	0,26	MWht / tona		770.264,5	0,267	205.660,6
Moviment de mineral	2.951.205,0	0,03	MWhte/ tona		94.438,6	0,369	34.847,8
Concentració d'U a U3O8	590.241,0	0,57	MWht / tona		337.617,9	0,267	90.144,0
Concentració d'U a U3O8	590.241,0	0,08	MWhte/ tona		44.268,1	0,369	16.334,9
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	395,90	MWht / tona		213.861,1	0,267	57.100,9
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	14,60	MWhe / tona		7.886,8	0,369	2.910,2
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	1,0062546	304.460,2	0,369	112.345,8
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	0,51318985	155.274,7	0,267	41.458,4
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWt/T	752,380952	50.243,2	0,267	13.414,9
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWe/T	300,952381	20.097,3	0,369	7.415,9
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	31,6298067	2.372,2	0,369	875,4
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	6,80086559	510,1	0,267	136,2
funcionament Ascó 2 Gwhe / any	4,5 anys	8,50	4,5	38,25	38.250,0	0,369	14.114,3
funcionament Ascó 2 GWth / any	4,5 anys	80,00	4,5	360	360.000,0	0,267	96.120,0
<b>TOTAL</b>					<b>2.399.544,6</b>		<b>692.879,3</b>

<b>Riquesa 0,068% - Namíbia (LANGER)</b>	<b>TONES</b>	<b>ERDA 76-1</b>	<b>UNITAT</b>	<b>VALOR MWh/tona</b>	<b>CONSUM MWh</b>	<b>factor de emissió tCO2/MWh</b>	<b>EMISSIÓ TOTAL tones CO2</b>
Moviment de mineral	4.482.424,0	0,26	MWht / tona		1.169.912,7	0,27	312.366,7
Moviment de mineral	4.482.424,0	0,03	MWhte/ tona		143.437,6	0,37	52.928,5
Concentració d'U a U3O8	896.484,7	0,57	MWht / tona		512.789,2	0,27	136.914,7
Concentració d'U a U3O8	896.484,7	0,08	MWhte/ tona		67.236,4	0,37	24.810,2
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	395,90	MWht / tona		213.861,1	0,27	57.100,9
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	14,60	MWhe / tona		7.886,8	0,37	2.910,2
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	1,006	304.460,2	0,37	112.345,8
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	0,513	155.274,7	0,27	41.458,4
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWt/T	752,38	50.243,2	0,27	13.414,9
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWe/T	300,95	20.097,3	0,37	7.415,9
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	31,63	2.372,2	0,37	875,4
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	6,80	510,1	0,27	136,2
funcionament Ascó 2 Gwhe / any	4,5 anys	8,50	4,5	38,25	38.250,0	0,37	14.114,3
funcionament Ascó 2 GWth / any	4,5 anys	80,00	4,5	360	360.000,0	0,27	96.120,0
<b>TOTAL</b>					<b>3.046.331,4</b>		<b>872.912,0</b>
<b>Riquesa 0,057% - Kazajstà</b>							
Moviment de mineral	5.423.738,0	0,26	MWht / tona		1.415.595,6	0,27	377.964,0
Moviment de mineral	5.423.738,0	0,03	MWhte/ tona		173.559,6	0,37	64.043,5
Concentració d'U a U3O8	1.084.748,0	0,57	MWht / tona		620.475,9	0,27	165.667,1
Concentració d'U a U3O8	1.084.748,0	0,08	MWhte/ tona		81.356,1	0,37	30.020,4
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	395,90	MWht / tona		213.861,1	0,27	57.100,9
Conversió del U3O8 en UF6	540,2	14,60	MWhe / tona		7.886,8	0,37	2.910,2
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	1,006	304.460,2	0,37	112.345,8
Enriquiment del UF6. Centrifugació	537,5	302.567,80	UTS	0,513	155.274,7	0,27	41.458,4
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWt/T	752,38	50.243,2	0,27	13.414,9
Fabricació del UO2 a partir del UF6	66,8		MWe/T	300,95	20.097,3	0,37	7.415,9
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	31,63	2.372,2	0,37	875,4
Fabricació de las barres (Juzbado)	75,0		MWh / tona	6,80	510,1	0,27	136,2
funcionament Ascó 2 Gwhe / any	4,5 anys	8,50	4,5	38,25	38.250,0	0,37	14.114,3
funcionament Ascó 2 GWth / any	4,5 anys	80,00	4,5	360	360.000,0	0,27	96.120,0
<b>TOTAL</b>					<b>3.443.942,8</b>		<b>983.586,9</b>

**ANNEX 4.- VARIABLES DE CONSUM I GENERACIÓ EN FUNCIÓ DE L'ENRIQUIMENT I DEL GAS-OIL COM A COMBUSTIBLE PER FABRICAR L'ELECTRICITAT QUE ES FA SERVIR EN TOT EL PROCÉS. COMPARATIVA TOTAL.**

<b>PRODUCCIÓ ASCÓ 2 DADES DE CÀRREGA DE COMBUSTIBLE</b>	<b>PROD Ascó2 GWh</b>	<b>t CO2 producció</b>	<b>t CO2 transport</b>	<b>t CO2 TOTAL</b>	<b>tones CO2/GWh</b>	<b>t CO2/ MWh</b>	<b>Kg CO2/ MWh</b>
Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore grade 0,294%	37.563,78	457.114,69	880,870	457.995,556	12,19	0,01	<b>12,19</b>
Prod Westinghouse - Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore 0,294%	33.039,50	457.114,69	880,870	457.995,556	13,86	0,01	<b>13,86</b>
GAS-OIL + Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore grade 0,294%	37.563,78	524.815,69	880,870	525.696,557	13,99	0,01	<b>13,99</b>
Prod Foro Nuclear - Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore 0,294%	29.500,00	457.114,69	880,870	457.995,556	15,53	0,02	<b>15,53</b>
Prod Westinghouse - GAS-OIL + Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore grade 0,294%	33.039,50	524.815,69	880,870	525.696,557	15,91	0,02	<b>15,91</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Dades HIPOTESI ERDA 76 - 1 ore 0,294%	29.500,00	524.815,69	880,870	525.696,557	17,82	0,02	<b>17,82</b>
Austràlia (ERA Ranger) Rússia Krasnokamensk - ORE GRADE 0,1%	37.563,78	692.879,26	880,870	693.760,131	18,47	0,02	<b>18,47</b>
GAS-OIL + Austràlia - Rússia - ORE GRADE 0,1%	37.563,78	777.403,14	880,870	778.284,013	20,72	0,02	<b>20,72</b>
Prod Westinghouse - Austràlia (ERA Ranger) Rússia Krasnokamensk - ore 0,1%	33.039,50	692.879,26	880,870	693.760,131	21,00	0,02	<b>21,00</b>
Namíbia 8% (LANGER) - ORE GRADE 0,068%	37.563,78	872.912,01	880,870	873.792,881	23,26	0,02	<b>23,26</b>
Prod Foro Nuclear - Austràlia (ERA Ranger) Rússia Krasnokamensk - ore 0,1%	29.500,00	692.879,26	880,870	693.760,131	23,52	0,02	<b>23,52</b>
Prod Westinghouse - GAS-OIL + Austràlia - Rússia - ORE GRADE 0,1%	33.039,50	777.403,14	880,870	778.284,013	23,56	0,02	<b>23,56</b>
GAS-OIL + Namíbia - ORE GRADE 0,068%	37.563,78	970.282,05	880,870	971.162,923	25,85	0,03	<b>25,85</b>
Kazajstán 10% (AKDAL, INKAY, etc.) ORE GRADE 0,057%	37.563,78	983.586,91	880,870	984.467,776	26,21	0,03	<b>26,21</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Austràlia - Rússia - ORE 0,1%	29.500,00	777.403,14	880,870	778.284,013	26,38	0,03	<b>26,38</b>
Prod Westinghouse - Namíbia 8% (LANGER) - ORE 0,068%	33.039,50	872.912,01	880,870	873.792,881	26,45	0,03	<b>26,45</b>
GAS-OIL + Kazajstán ORE GRADE 0,057%	37.563,78	1.088.854,11	880,870	1.089.734,979	29,01	0,03	<b>29,01</b>
Prod Westinghouse - GAS-OIL + Namíbia - ORE GRADE 0,068%	33.039,50	970.282,05	880,870	971.162,923	29,39	0,03	<b>29,39</b>
Prod Foro Nuclear - Namíbia 8% (LANGER) - ORE 0,068%	29.500,00	872.912,01	880,870	873.792,881	29,62	0,03	<b>29,62</b>
Prod Westinghouse - Kazajstán 10% (AKDAL, INKAY, etc.) ORE 0,057%	33.039,50	983.586,91	880,870	984.467,776	29,80	0,03	<b>29,80</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Namíbia - ORE 0,068%	29.500,00	970.282,05	880,870	971.162,923	32,92	0,03	<b>32,92</b>
Prod Westinghouse - GAS-OIL + Kazajstán ORE GRADE 0,057%	33.039,50	1.088.854,11	880,870	1.089.734,979	32,98	0,03	<b>32,98</b>
Prod Foro Nuclear - Kazajstán 10% (AKDAL, INKAY, etc.) ORE 0,057%	29.500,00	983.586,91	880,870	984.467,776	33,37	0,03	<b>33,37</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Kazajstán ORE 0,057%	29.500,00	1.088.854,11	880,870	1.089.734,979	36,94	0,04	<b>36,94</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Kazajstán ORE 0,057% + enriquiment amb difusió	29.500,00	1.338.854,11	880,870	1.339.734,979	45,41	0,05	<b>45,41</b>
Prod Foro Nuclear - GAS-OIL + Kazajstán ORE 0,057% + enriquiment amb difusió + electricitat de gas-oil en l'enriquiment	29.500,00	1.463.854,11	880,870	1.464.734,979	49,65	0,05	<b>49,65</b>

**Nota a l'Annex 4:** només s'han aplicat els valors d'enriquiment per difusió, i enriquiment per difusió amb electricitat generada per gas-oil, a la producció avaluada segons les dades del Foro Nuclear i amb la riquesa de mineral de Kazajstà, ja que és el pitjor escenari possible de l'anàlisi.

**TANQUEM LES NUCLEARS – Coordinadora per una Nova Cultura de l'Energia (TLN – NCE)**

<http://www.tanquemlesnuclears.org/>

[tln-nce@pangea.org](mailto:tln-nce@pangea.org)

**Agost 2008**