

Resum

Dessalinització Nuclear

**Estudi preliminar per l'aplicació
a Catalunya**



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Projecte Final de Carrera

Autor: Bernat Serra Pòrtulas

Niu: 1216931

Tutor: Pere Masqué Barri

Bellaterra, Juliol 2013

Resum

Aquest document pretén donar a conèixer el concepte de dessalinització nuclear, determinar els avantatges i inconvenients a nivell ambiental, així com els costos econòmics i energètics que poden suposar. Podem definir dessalinització nuclear com una planta de dessalinització d'aigua marina que és alimentada pel seu complet funcionament per un reactor nuclear. La planta utilitza tant l'energia elèctrica que es produeix com l'energia calorífica retinguda en l'aigua que surt del reactor. S'ha estructurat el treball en tres parts. La primera és una anàlisi de quin és l'ús que se'n fa a nivell mundial de la tecnologia de dessalinització. S'ofereixen dades de la producció mundial d'aigua dolça a partir d'aquesta tecnologia, en quins països se'n fa més ús i perquè. També es defineixen els tipus de plantes de dessalinització que es poden construir. El segon apartat és un anàlisi històric i d'actualitat de la dessalinització nuclear mundial. S'analitza el perquè del desenvolupament d'aquesta tecnologia i s'estudien les necessitats hidriques que es podran tenir en un futur. Es planteja si aquesta tecnologia pot satisfer-les. S'estudien les onze plantes de dessalinització nuclear que han funcionat. El tercer apartat és un estudi de la possible transformació de les dues plantes dessalinitzadores catalanes en dessalinitzadores nuclears. Es fa un anàlisi de costos energètics i de producció, sense tenir en compte els d'instal·lació. També s'investiga els possibles impactes per contaminació radiològica que podria generar l'aigua produïda amb aquesta tecnologia.

Abstract

This document aims to let know the nuclear desalination concept, determine the environmental advantages and disadvantages as well as the economic and energetic costs that it might produce. We can define nuclear desalination as a seawater desalination plant that works using nuclear energy for all its operation. The plant uses the electrical energy produced by the reactor and the heat of the water that gets out from it. The project is structured in three main parts. The first it is an analysis of which is the use of desalination technology in the world. It gives data of the world production, in which countries is more used and why. There are also defined the types of desalination plants that exist. The second section is an historical and actual analysis of the world nuclear desalination. Is studied why this technology has been developed and analysed the world water needs that might be in the future. Raises if this technology can satisfy them. It also studies the eleven desalination plants that had ever been in operation. The third part is a study of the possible transformation of the two catalan desalination plants. Is analysed de energy and production costs. Is also investigated the radiological contamination that might cause the product water with this technology.

Index

Resum

1. Dessalinització	4
1.1. Importància a nivell mundial	4
1.2. El golf d'Aràbia	5
2. Dessalinització nuclear	7
2.1. Història	7
2.2. Casos actuals de dessalinització nuclear.....	8
2.3. Aplicacions Futures	8
3. Consideracions sobre Dessalinització Nuclear a Catalunya	9
3.1. Consum energètic i costos de producció de les plantes catalanes	9
3.2. Tecnologia nuclear com a solució a la demanda energètica.....	10
3.3. Impacte Ambiental.....	11
4. Conclusions i altres línies de treball	13
Bibliografia	14

1. Dessalinització

S'entén per dessalinitzar com el procés de llevar el caràcter salí de l'aigua o d'una substància¹.

El món cada vegada té més limitacions pel què fa a disponibilitat d'aigua per l'agricultura, per la indústria i per l'ús domèstic. Degut al creixement demogràfic moltes regions estan experimentant un increment notable de la demanda d'aigua, que sovint supera les capacitats hídriques del territori. L'aigua potable és el recurs bàsic més important. Ha de ser protegida i conservada per satisfer les necessitats de les generacions futures².

Davant d'aquesta situació, des de 1945³ s'està apostant per utilitzar la tecnologia de dessalinització moderna per tal de produir aquest recurs. No és fins els anys setanta que s'explota àmpliament⁴.

1.1. Importància a nivell mundial

Entre els anys 1945 i 2004 s'havien construït més de 10.000 plantes de dessalinització amb una capacitat total instal·lada d'uns 35 hm³ de producció diària³, aproximadament. *Waterworld*⁵ ofereix dades de quines són les 100 plantes de dessalinització més importants del planeta ordenades per capacitat de producció diària. Segons aquestes dades, la majoria estan situades a l'Orient Mitjà en països com Aràbia Saudí, Kuwait, Unió dels Emirats Àrabs (UAE), Israel, etc. Aquest països tenen la característica comuna de ser països de clima àrid.

Ens trobem doncs, davant d'un important problema de disponibilitat d'aigua a alguns països que està essent resolta per la producció d'aigua a partir de dessalinització. Degut a la similitud de necessitats hídriques als països d'Orient Mitjà, s'ha considerat necessari fer un anàlisi de les condicions en què es troben alguns d'aquests països pel què fa a aquest aspecte.

El 65% de les plantes dessalinitzadores es troben al Golf d'Aràbia. La disponibilitat d'aigua d'aquests països és bastant limitada. Són països càlids amb un dèficit hídric important⁶. A més, el consum d'aigua ha augmentat considerablement en els últims anys. La demanda és degut al desenvolupament industrial i el creixement de l'agricultura, així com l'augment demogràfic i el consum per càpita⁷. La tendència de la disponibilitat dels recursos hídrics és clarament decreixent.

Un clar exemple del dèficit hídric que suporten aquets països és el cas de Bahrain, que l'any 2000 tenia un consum per càpita d'aigua de 437,4 m³/any, però disposava com a país de 170 m³/any·càpita. Dóna un balanç hídric clarament negatiu^{6,7}.

Havent vist com la tecnologia de dessalinització és necessària pel desenvolupament d'alguns països, per poder aprofundir encara més en la matèria, s'ha considerat oportú estudiar quins tipus de plantes existeixen, quin és el seu funcionament i estructura.

1.2. Estructura i funcionament d'una dessalinitzadora

Qualsevol procés de dessalinització necessita energia, tant calorífica com elèctrica. La calorífica, necessària per escalfar l'aigua de mar en els processos de destil·lació i per generar altes pressions en els d'osmosi inversa, pot ser extreta d'un cicle de vapor per combustió de fòssils, d'una central nuclear, d'una central tèrmica o qualsevol font adequada amb pèrdues de calor.

L'electricitat, necessària pels processos de destil·lació, pot ser extreta d'una central o de la xarxa elèctrica. Esquemàticament, a la Figura 1 podem veure les necessitats d'una planta dessalinitzadora, quins són les seves entrades i sortides⁸.

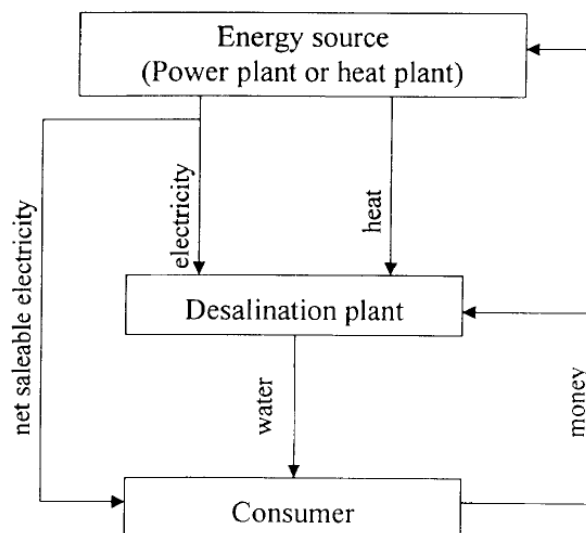


Fig. 1. Diagrama de fluxes d'energia, aigua i diners
Font: International Atomic Energy Agency (IAEA) 2000

A partir d'una font d'energia tant elèctrica com calorífica es produeix aigua. L'energia elèctrica sobrant del procés també es ven al consumidor. Els beneficis econòmics obtinguts en aquest procés es reinverteixen en la producció d'energia per tancar el procés.

Tipus de Dessalinitzadores

Taula 1.2. Principals processos de dessalinització

<i>Procés</i>	<i>Abreviació</i>	<i>Descripció</i>
Destil·lació	MED	Multi-Effect Distillation
	MSF	Multi-Stage Flash
Membrana	SA-RO	Stand-Alone Reverse Osmosis
	C-RO	Contiguous Reverse Osmosis
Híbrid	MED/RO	Multi-Effect Distillation with Reverse Osmosis
	MSF/RO	Multi-Stage Flash with Reverse Osmosis

Font: IAEA, 2000

Destil·lació

En un procés de destil·lació, l'aigua del mar és escalfada per formar vapor pur i, posteriorment, es fa condensar. L'energia calorífica necessària per la destil·lació és subministrada per vapor a baixa pressió de saturació. Les plantes MED i MSF tenen aquesta característica.

Osmosi Inversa

El procés d'osmosi consisteix en posar dues solucions d'aigua amb diferent concentració de sal separades per una membrana semipermeable. Amb aquestes condicions l'aigua passa del recipient amb menys concentració salina cap al que més, per tal d'igualar les concentracions. L'osmosi inversa és un procés que consisteix en extreure forçadament l'aigua pura de l'aigua de mar, a través d'una membrana. Es realitza creant una gran diferència de pressions per tal que l'aigua es mogui a través de la membrana seguint un gradient de pressions. La compressió del fluid ha de ser més gran que la pressió osmòtica entre la solució salina i l'aigua pura. A la pràctica, l'aigua de mar ha de ser comprimida a 70 – 80 bars, ja que la seva pressió osmòtica és d'uns 60 bars^{8,9}.

Híbrid

Consisteix en combinar processos de destil·lació i d'osmosi inversa.

2. Dessalinització Nuclear

2.1.Història

Segons Kupitz¹⁰, el fet de combinar l'ús de la tecnologia nuclear amb l'obtenció d'aigua potable és una idea que va començar a sorgir els anys seixanta. Es veia amb un gran optimisme. En aquell moment es van fer alguns estudis de la viabilitat d'aquest procés en alguns països, indústries nuclears i empreses. L'IAEA en va fer alguns d'econòmics i tècnics entre els anys 1964 i 1967¹¹.

En aquella època hi havia un interès considerable en promoure l'ús de l'energia nuclear per una àmplia varietat d'aplicacions a més de generar electricitat, així com submarins nuclears o calefacció per districtes¹¹. Moltes de les propostes, quan van tenir un suport popular i polític, no es van quedar a nivell d'estudi sinó que es van realitzar alguns prototips i projectes de demostració. En el cas de la dessalinització nuclear, es va dissenyar i construir el complex de Shevchenko (ara Aktau a Kazakhstan) per la Unió Soviètica. El reactor BN-350 va entrar en funcionament el 1973 i des d'aleshores i fins el 1999 va generar calor i electricitat per a la producció d'aigua dolça.

El 1989, a la Conferència General de la IAEA, es va expressar un interès renovat envers aquesta aplicació. La Conferència va dictar una resolució en la qual es demanava que s'avalués la viabilitat tècnica i econòmica potencial de les dessalinitzadores nuclears. Aquest afer va quedar sota el títol de "*Plan for Producing Potable Water Economically*"¹⁰.

L'interès actual per tornar a parlar d'aquesta aplicació és degut a dues grans raons. La primera és la disponibilitat d'aigua per abastir la població mundial. Només el 2,5% de l'aigua del planeta és dolça. D'aquesta, 2/3 està retinguda en glaceres i gairebé 1/3 està retinguda en aqüífers de difícil accés¹². A més, ens trobem amb una distribució desigual dels recursos¹³.

Amb les dades que ofereix Nacions Unides¹⁴, els anys seixanta, quan es va plantejar aquesta possible aplicació, la població mundial era de 3.000 milions de persones aproximadament. Fent una aproximació a l'any 2050, veiem que la població augmenta exponencialment¹⁴ mentre que els recursos d'aigua són més o menys constants. El 97,5% de l'aigua és salada i per tant amplia molt la possibilitat de tenir aigua dolça a qualsevol punt del planeta.

La segona raó per la qual es torna a parlar de dessaladores nuclears és perquè la tecnologia en aquest àmbit ha millorat considerablement en els últims anys i és econòmicament viable. Es calcula

que, depenent de les condicions econòmiques i financeres, la inversió feta en una tecnologia com aquesta s'amortitza en 10 o 12 anys¹⁰.

2.2.Casos actuals de dessalinització nuclear

Segons l'IAEA¹⁵, a l'any 2010, hi havia 11 plantes de dessalinització nuclear amb capacitats de producció d'aigua dolça d'uns 160.000 m³/dia per dessalinització nuclear arreu del planeta. Els països on es trobaven eren: Kazakhstan, Japó, Índia i els Estats Units.

2.3.Aplicacions futures

Golf d'Aràbia

Com hem vist a l'apartat 1.1 d'aquest treball, els països del Golf d'Aràbia compten molt amb la tecnologia de dessalinització per al desenvolupament econòmic i el benestar social. Tenint en compte aquestes dades, s'ha considerat interessant analitzar si hi hauria motius perquè, en un futur proper, aquests països apostessin per la dessalinització nuclear.

Algunes fonts¹⁶ esmenten que dins del propi mercat d'aquests països, el preu del barril de petroli és aproximadament d'uns 4,5 dòlars. Aquest petroli al mercat internacional estaria valorat per 125 dòlars/barril. És possible que aquest sigui un bon motiu per fer un canvi de consum energètic ja que internacionalment tenen un mercat assegurat. Així doncs, veient el petroli com una oportunitat de vendre a l'exterior i consumir-lo en menor mesura dins de les seves pròpies fronteres, no és sorprenent que aquest països busquin altres fonts de producció energètica.

3. Consideracions sobre Dessalinització Nuclear a Catalunya

En aquest apartat s'intenta analitzar quins serien els costos de producció d'aigua dolça a partir de les dues plantes dessalinitzadores existents a Catalunya, si les convertíssim en dessalinitzadores nuclears. A continuació es fa un anàlisi dels costos actuals i consum energètic que realitzen aquestes plantes.

3.1. Consum energètic i costos de producció de les plantes Dessalinitzadores catalanes

Dessalinitzadora del Prat de Llobregat

S'han utilitzat les dades que ofereix Aigües Ter-Llobregat sobre la dessalinitzadora del Prat de Llobregat posada en funcionament l'any 2009¹⁷. Aquesta planta és d'Osmosi Inversa i obté l'energia pel seu funcionament de la xarxa elèctrica general.

S'han analitzat les dades que ofereixen les memòries de la de l'empresa pública que es presenten cada any. Es produeixen uns 20.000 m³/dia d'aigua dolça i és el consumeixen uns 3.8 kWh/m³ d'aigua produïda. El cost de l'aigua produïda és aproximadament de 0,35 €/m³. El cost específic de l'energia és de 0,08 €/kWh.

Planta Dessalinitzadora de la Tordera

Va ser posada en funcionament l'any 2002 i produïa anualment uns 10 hm³ d'aigua¹⁸. Degut a la sequera viscuda a Catalunya entre els anys 2007 i 2008, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) en va accelerar l'ampliació per produir 20 hm³/any. Segons les memòries, però, no s'ha arribat encara a aquesta capacitat de producció. També es tracta d'una planta d'Osmosi Inversa. Aquesta planta es va tancar a finals de 2011.

La producció d'aigua d'aquesta planta dessalinitzadora entre els anys 2007 i el 2011¹⁹ era d'uns 20.000 m³/dia d'aigua dolça. Les memòries de l'ACA no mostren les dades entre els anys 2002 i 2006.

Pel què fa al consum energètic i els costos de producció d'aigua, les memòries de l'ACA no faciliten aquesta informació. Tot i així, segons un informe demanat expressament a aquesta agència

(Annex 1), asseguren un consum anual de 72.800.000 kWh i un cost del subministrament energètic d'uns 5.500.000 € per l'any 2011. El cost de l'aigua produïda era aproximadament de 0,61 €/m³

3.2. Tecnologia Nuclear com a solució a la demanda energètica

El *software Desalination Economic Evaluation Program (DEEP)*²⁰ és una eina pràctica i lliure creada per IAEA, que pot ser utilitzada per analitzar els costos potencials de la producció d'aigua d'una planta dessalinitzadora. Permet escollir a l'usuari una gran quantitat de paràmetres per tal de simular, de manera molt acurada, la planta que es vol estudiar.

Utilitzant aquest mètode d'anàlisi, en els següents subapartats es plantegen casos de possibles dessalinitzadores nuclears amb condicions similars a les de Catalunya. Cada un d'ells presenta uns resultats pel què fa al cost de l'aigua produïda. Així doncs, es parteix d'una planta dessalinitzadora d'Osmosi Inversa igual per a tots els casos. Es mantenen constants els paràmetres econòmics i físics que demana el programa

Els casos que s'estudien en aquest apartat són valorant un reactor de Cicle de Vapor, un de Cicle de Gas, un de Cicle Combinat i un de Només Calor. Aplicant totes les dades descrites plenament en el treball complet, els resultats obtinguts són els que es mostren a la Taula 3.2. Els resultats complets es mostren a l'Annex 2 del projecte complet:

Taula 3.2. Tipus de reactor i resultats obtinguts per cada cas

	Tipus de reactor	Cost de l'aigua producte [€/m ³]	Cost de l'energia [€/m ³]
Cas I	Cicle de Vapor	0,87	0,04
Cas II	Cicle de Gas	0,89	0,05
Cas III	Cicle Combinat	0,90	0,05
Cas IV	Només calor	0,92	0,01

Font: Elaboració pròpia a partir dels resultats del DEEP 4

Cal destacar tots els casos com a sorprenents. Com s'ha descrit a l'apartat 3.1 d'aquest resum, els costos de producció d'aigua dolça per aquestes dessalinitzadores són de 0,35 €/m³, en el cas del Prat de Llobregat, i 0,61€/m³ en el cas de la Tordera. Són valors més econòmics enfront els 0,87 €/m³ que calcula el *software*, en el cas més econòmic.

Si ens centrem només en el Cas I el DEEP 4 té associat que el preu del kWh produït per una central nuclear és de 0,057\$/kWh (0,04 €/kWh), tal com està descrit a l'Annex 2. La dessalinitzadora del Prat de Llobregat tenia un cost específic d'energia de 0,08 €/kWh segons l'apartat 3.1. Com podem veure, el preu de l'energia de la xarxa de subministrament català és més car que la que ofereix el programa. Tot i així, el cost de producció d'aigua per energia nuclear que proposa el programa continua essent més car.

Caldria aprofundir amb el treball d'aquestes dades per demostrar si els resultats obtinguts són vàlids o no.

3.3. Impacte Ambiental

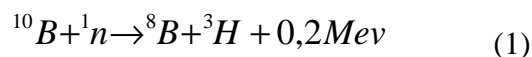
En aquest projecte es valoren els impactes per contaminació radiològica que pot produir l'aigua resultant d'un procés de dessalinització nuclear, quins efectes pot causar sobre la salut humana i en el medi ambient, tant *in situ* com *ex situ*.

Els impactes sobre el terreny pel què fa a la construcció de la central, no s'esmenten en el contingut d'aquest treball. És així perquè els impactes i riscos associats tant en els processos de dessalinització com en el cicle nuclear, ja han estat estudiats a fons. Així doncs, aquest document només es centre en l'aigua producte.

Triti

El fet de combinar energia nuclear amb la producció d'aigua dolça, fa pensar en la seguretat a nivell radiològic a l'hora de consumir-la. El triti és un isòtop radioactiu de l'hidrògen que es comporta químicament igual que hidrogen elemental i que podríem trobar a l'aigua producte.

En els reactor nuclears és produït principalment pel ^{10}B per captura neutrònica als *Pressurized Water Reactor* (PWR)²¹. La reacció que es produeix és la següent:



Per prevenir els impactes en la salut que el triti pugui causar, explicats més àmpliament al document complet, cal tenir en compte el tipus de tecnologia que estem estudiant. Per les plantes d'Osmosi Inversa amb un funcionament a partir d'un reactor nuclear, el risc de canvi físic en l'aigua dessalinitzada és nul, ja que no s'aprofita l'energia calorífica emesa pel reactor per escalfar l'aigua

de mar. D'aquesta manera, la font d'energia pot estar a la mateixa central o a molts quilòmetres de distància que no contaminarà l'aigua producte de cap manera.

És en el cas de les plantes dessalinitzadores de tipus MSF i MED, que funcionen aprofitant l'energia calorífica sortint del reactor, on es podria donar el cas de contaminació radiològica de l'aigua. S'escalfa aquest fluid per conducció tèrmica entre la canonada sortint del reactor i la que conté aigua per dessalinitzar, i això podria afavorir la producció de triti en aquesta aigua.

Segons Anastov i Khamis²¹, la dessalinització nuclear inclou característiques i pràctiques de seguretat. La més específica és la del bucle d'aïllament (*isolation loop*), que és un circuit d'aigua que circula a una pressió més alta que el bucle nuclear (*nuclear loop*), i idealment, a menys pressió que el bucle de dessalinització (*desalination loop*).

Aquesta pressió del bucle d'aïllament preveu de possibles fugues de refrigerant contaminat del corrent del reactor cap al corrent dessalinitzat. A part d'aquest bucle d'aïllament, l'aigua produïda és retinguda a diversos tancs on es pot mesurar els nivells d'activitat de triti abans de ser abocada a la xarxa de distribució.

L'experiència amb aquesta tecnologia no ens mostra casos de contaminació o problemes de salut degut al triti en aigua dessalinitzada. Segons Muralev²², en el cas de Kazakhstan, la màxima concentració de triti trobada en el corrent de dessalinització va ser de 6 Bq/L. Des de la perspectiva dels límits regulatoris de triti en aigua potable, l'aigua produïda es trobaria dins d'un llindar segur. A Europa no es poden superar els 100 Bq/L²³.

4. Conclusions i altres línies de treball

Els processos de dessalinització han donat resposta a aquells països amb necessitats de consum d'aigua més altes que els recursos que disposen. És el cas del Golf d'Aràbia on tenen un dèficit hídric important degut als pocs recursos de què disposen i l'augment del consum dels últims anys per la industrialització de l'economia, l'augment de l'agricultura i la demografia.

La tendència del consum d'aigua a nivell mundial és d'augmentar en el proper segle. Es preveu que el consum mundial d'aigua el 2050 podria gairebé duplicar el de 2009. La tecnologia de dessalinització pot ajudar a satisfer aquestes necessitats.

La tecnologia nuclear en dessalinització és una opció per aquells països que, a part de tenir pocs recursos hídrics, tenen recursos energètics limitats. És el cas de Japó que, pel fet de ser un arxipèlag, té uns recursos limitats.

Els resultats obtinguts amb el software DEEP 4 per a la possible transformació de les plantes dessalinitzadores catalanes en dessalinitzadores nuclears no s'ajusten a les prediccions que esmenten alguns autors d'una producció d'aigua més econòmica. Els resultats d'aquest document exposen que les dessalinitzadores catalanes produeixen aigua més econòmicament en l'actualitat que si produïssin aigua potable a partir d'un reactor nuclear. Caldria aprofundir en la viabilitat econòmica d'aquesta tecnologia.

El software DEEP 4 permet l'anàlisi de moltes més opcions no estudiades en aquest projecte. Opcions com carbó, petroli o gas. Una nova línia de treball podria ser la recerca d'una font de producció d'aigua més econòmica.

Les motivacions dels països del Golf d'Aràbia que s'han trobat per la construcció de plantes de dessalinització nuclear no són fermes i semblen d'opinió periodística poc contrastada. Caldria augmentar la recerca en aquesta apartat.

Hi ha sistemes eficaços per prevenir la contaminació radiològica. És el cas del *isolation loop* o bucle d'aïllament i controls que mesuren l'activitat del possible triti en l'aigua. No s'han trobat casos de contaminació per triti a l'aigua producte de les plantes de dessalinització nuclear existents.

Bibliografia

- (1) DICCIONARI.CAT, Dessalinitzar [pàgina web]. Barcelona; 2013 (consulta el 7 de maig de 2013). Disponible a:
<http://www.diccionari.cat/lexicx.jsp?GECART=0159594>
- (2) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Introduccion of nuclear desalination [internet]. Viena; 2000 (consulta el 7 de maig de 2013). Disponible a: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS400_scr.pdf
- (3) WORLDWATER, Installed Desalination Capacity by Year, Number of Plants and Total Capacity, 1945 to 2004 [Internet] 2004 (Consulta el 8 de maig de 2013). Disponible a: <http://www.worldwater.org/data20062007/Table22.pdf>
- (4) BASF, THE CHEMICAL COMPANY, Desalination: every drop counts [pàgina web]. New Jersey; 2013 (consulta el 8 de maig de 2013). Disponible a: http://www.performancechemicals.basf.com/ev/internet/watersolutions/en/desalination/index?WT.mc_id=60107&WT.srch=1&WT.adw=desalination%20water%20plant
- (5) WORLDWATER, 100 Largest Desalination Plants Planned, in Construction, or in Operation [Internet], 2005 (Consulta el 7 de maig de 2013). Disponible a: <http://www.worldwater.org/data20062007/Table21.pdf>
- (6) AL-MUTAZ I. S. Potential of nuclear desalination in the Arabian Gulf Countries [Internet]. King Saud University: Elsevier; 2000 [consulta el 14 de novembre de 2012] Disponible a: <http://faculty.ksu.edu.sa/Almutaz/Research/Potential%20of%20nuclear%20desalination%20in%20the%20Arabian%20Gulf%20countries.pdf>
- (7) NIMAH M. N., Water Resources. Arab Environment: Future Challenges [Internet] 2008 (Consulta el 19 de novembre de 2012). Disponible a: <http://www.afedonline.org/afedreport/english/book5.pdf>
- (8) IAEA, Desalination Economic Evaluation Program: Users manual [Internet]. Vienna; 2000 [Consulta el 5 de febrer de 2013]. Disponible a: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CMS-14.pdf>
- (9) IAEA, Introduction of Nuclear Desalination [Internet]. Vienna; 2000 [Consulta el 30 d'abril de 2013]. Disponible a: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS400_scr.pdf
- (10) KUPITZ J. Nuclear energy for seawater desalination: Updating the record. IAEA Bulletin [Internet]. 1995 [consulta el 21 de setembre de 2012] 2, 21-24. Disponible a: <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull372/37204782124.pdf>

- (11) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Technical Reports Series nos. 24, 51 i 80 [Internet]. 1964 – 1967 [Consulta el 17 d'abril de 2013]. Disponible a: <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/Series/80/Technical-Reports-Series>
- (12) WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, Water Facts and Trends [Internet]. Geneva; 2010 [Consulta el 17 de desembre de 2012]. Disponible a: http://www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf
- (13) UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROSPECT, Freshwater resources: volume by continent [Internet]. Nairobi, Kenya; 2008 [Consulta el 2 de gener de 2013]. Disponible a: <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article32.html>
- (14) UNITED NATIONS, World Populations Prospects, the Revision [Internet]. New York: Department of Economic and Social Affairs; 2009 [consulta el 21 de desembre de 2012]. Disponible a: http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008_highlights.pdf
- (15) IAEA, Environmental Impact Assessment of Nuclear Dessalination [Internet]. Vienna; 2010 [Consulta el 12 d'abril de 2013]. Disponible a: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1642_web.pdf
- (16) FARAH J., Saudi Arabia looks to develop own nuclear power [Internet]; 2012 (consulta el 7 de març de 2013). Disponible a: <http://www.wnd.com/2012/04/saudi-arabia-looks-to-develop-own-nuclear-power/>
- (17) AIGÜES TER LLOBREGAT, Declaracions Ambientals de 2009, 2010 i 2011 [Internet]. Sant Joan Despí; 2012 [Consulta el 13 de febrer de 2013]. Disponible a: <http://www.atll.cat/ca/page.asp?id=73>
- (18) AGENCIA CATALANA DE L'AIGUA, Dessalinitzadora de la Tordera [Internet]. Barcelona; 2011 [Consulta el 13 de febrer de 2013]. Disponible a: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/sensibilitzacio/recursos_pedagogics/posters_quaderns_i_fulletons/poster_ITAM_tordera.pdf
- (19) ACA. Memòries de l'Agència [pàgina web]. Barcelona: 2000-2013 [Consulta el 14 de febrer de 2013]. Disponible a: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P16800335891241779668252
- (20) IAEA, Desalination Economic Evaluation Program (DEEP) [pàgina web] Viena: 2010 [Consulta el 25/02/2013]. Disponible a: <http://www.iaea.org/NuclearPower/Desalination/>
- (21) ANASTASOV V., KHAMIS I., Environmental Issues Related to Nuclear Desalination, [Internet] World Academy of Science, Engineering and Technology 42, 2010. [Consulta el 2 d'abril de 2013]. Disponible a: <http://www.waset.org/journals/waset/v42/v42-238.pdf>

- (22) MURALEV E. D., Experience in the application of nuclear energy for desalination and industrial use in Kazakhstan, in Nuclear heat applications: Design aspects and operating experience, IAEATECDOC- 1056, IAEA, Vienna (1998) 361–368
- (23) ANASTASOV V., KHAMIS I., Nuclear desalination – environmental impacts and implications for planning and monitoring activities. The Royal Society of Chemistry, 2010 - Journal of Environmental Monitoring [Internet]. 2009 [consulta el 16 de setembre de 2012] 12, 50-57. Disponible a: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2010/EM/b907794d>