

Dessalatge de les aigües salobres i d'aigua del mar¹

DANIEL PRATS RICO
Universitat d'Alacant

1. Introducció al dessalatge

El dessalatge consisteix bàsicament a obtenir aigua dolça a partir d'aigua de mar o d'aigües salobres (que per la seua elevada salinitat no són directament utilitzables), tal com es mostra a la figura 1. En tots els casos, a més de l'aigua dolça, s'obté un cabal d'aigua que conté les sals separades de l'aigua de mar o aigua salobre, a una concentració major que la inicial, i que es denomina salmorra.

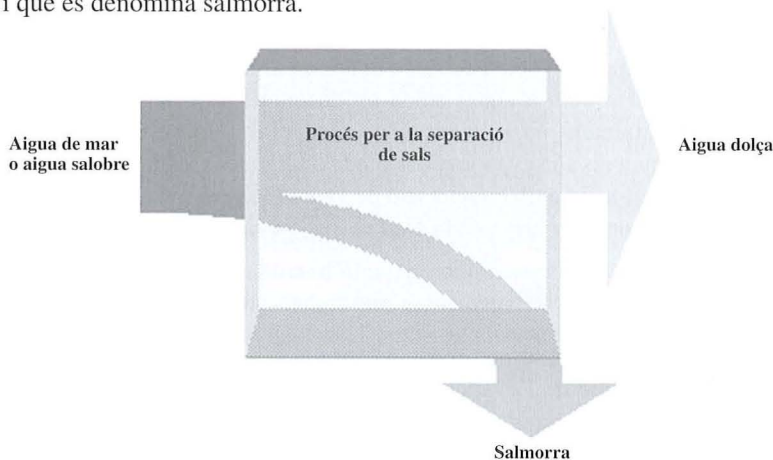


Figura 1. Esquema general del dessalatge.

És molt important assenyalar que per a separar les sals que estan dissoltes en una solució salina és imprescindible aportar una certa quantitat d'energia que, almenys, ha de ser equivalent a l'energia mínima que es desprén en dissoldre aquestes sals en aigua pura. Els consums mínims són de l'ordre de 0,88 kWh/m³ per a aigua de mar de 35 g/L de sals, i de 0,30 kWh/m³ per a aigües salobres de 15 g/L. En la pràctica, els consums són molt més grans, de 4 a 20 vegades, segons la tècnica i el disseny aplicats. Encara que, com ja es comentarà, aquests consums energètics s'han reduït substancialment en els darrers anys, continuen representant actualment el principal problema amb què s'enfronta el dessalatge.

¹ El present article és un extracte del capítol presentat per l'autor dins de l'informe «Repercusiones socioeconómicas del Plan Hidrológico Nacional en la provincia de Alicante». COEPA, 2004, i que duia per títol *Desalación de aguas salobres y agua del mar como recurso complementario*. Traducció del castellà de Llum Bracho Lapiedra (Universitat Politècnica de València).

La necessitat d'aproximar els consums reals als mínims teòrics ha estat una de les principals motivacions per als avanços tecnològics que s'han experimentat en aquest camp des de l'inici del dessalatge a gran escala industrial, fa uns 40 anys. Cal indicar que l'avanç científic en les tècniques emprades i l'increment constant d'instal·lacions arreu del món permeten que cada vegada siga més fiable i econòmicament atractiva l'obtenció de cabals d'aigua dolça mitjançant dessalatge.

Avui dia, s'empren industrialment diversos tipus de tecnologies per a la separació de les sals, basades en dues formes distintes de realitzar aquesta separació: els processos d'evaporació en els quals la separació de les sals es realitza mitjançant evaporació de l'aigua, i els processos de membrana que empren les membranes semipermeables que actuen com a barreres selectives a les sals dissoltes. Una diferència substancial entre unes tecnologies i les altres està relacionada amb la font energètica utilitzada. Mentre en l'evaporació s'empra l'energia tèrmica, en els processos de membrana l'energia necessària s'aconsegueix mitjançant pressió o per mitjà d'energia elèctrica.

1.1. Tècniques d'evaporació

Les tècniques d'evaporació consisteixen a evaporar aigua de la solució amb sals i condensar el vapor resultant com a aigua dolça producte. Hi ha diverses tècniques que es diferencien fonamentalment en la manera de recuperar l'energia que s'empra per a l'evaporació. Les principals són evaporació sobtada multietapa (MSF), destil·lació d'efecte múltiple (MED) i destil·lació amb compressió de vapor (VC). A més a més, cal mencionar la destil·lació solar la font d'energia de la qual és exclusivament la radiació solar.

Evaporació sobtada multietapa

Aquest procés es basa en el sotmetiment del corrent salí a una temperatura superior a la d'ebullició, per a la pressió de l'evaporador, per tal de provocar una ebullició en tota la massa d'aigua (sobtada). El vapor es condensa a les parets d'un serpentí pel qual circula l'aigua de mar que, d'aquesta manera, es va escalfant a través d'una sèrie d'evaporadors connectats en sèrie. Les condicions de sobreescalfament s'assoleixen mantenint el gradient de pressions apropiat entre els evaporadors connectats en sèrie i amb un escalfament addicional en la darrera etapa. A la figura 2 es mostra un esquema del procés. La quantitat d'aigua dolça produïda augmenta quasi en proporció directa amb el nombre d'etapes. És a dir, com més gran és en nombre, menors són les necessitats d'energia per unitat d'aigua producte, però en augmentar la quantitat d'etapes, s'incrementa la inversió, per la qual cosa cal emprar-ne el nombre òptim, basant-nos en un compromís econòmic.

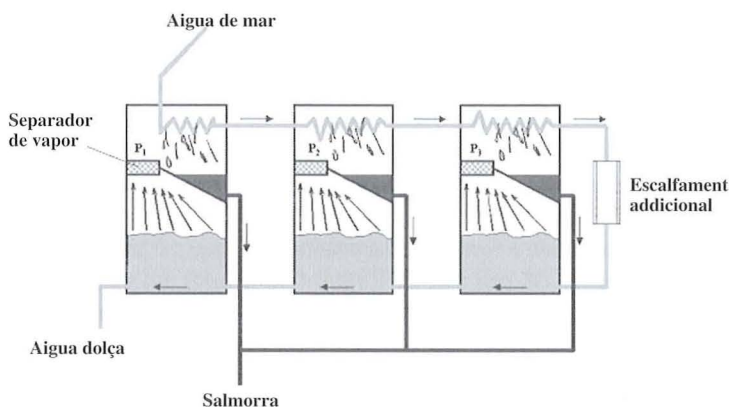


Figura 2. Evaporació sobtada multietapa ($P_1 < P_2 < P_3$).

Evaporació d'efecte múltiple

Aquest procés es basa en la col·locació de diversos evaporadors en sèrie, formant una mateixa unitat, de manera que cada evaporador treballa a una pressió lleugerament inferior a l'anterior. Llavors, com que el punt d'ebullició disminueix en fer-ho la pressió, es pot utilitzar el vapor generat en cada evaporador com a mitjà d'escalfament de l'evaporador següent, i així successivament. D'aquesta manera, únicament s'empra energia per generar vapor al primer evaporador del sistema. Se'n mostra un esquema a la figura 3. Tal com en les instal·lacions d'MSF, la quantitat d'aigua produïda augmenta quasi en proporció directa al nombre d'efectes de la unitat, encara que, lògicament, en augmentar el nombre d'efectes, augmenta el cost d'inversió. En general, l'òptim econòmic es troba en uns 20 – 30 efectes.

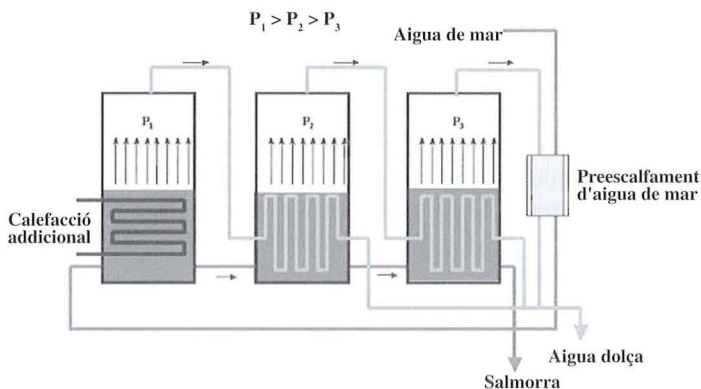


Figura 3. Evaporació d'efecte múltiple ($P_1 > P_2 > P_3$).

Compressió de vapor

La compressió mecànica de vapor es basa en el fet que si es comprimeix un vapor, la seua temperatura de saturació augmenta. Llavors, si el vapor produït per l'aigua a dessalar és aspirat per un compressor que augmenta la seua temperatura de saturació, es pot introduir en un feix de tubs en contacte amb l'aigua a tractar i, en condensar en aquests tubs, cedirà la calor que serveix per provocar l'ebullició de l'aigua salada. La salmorra concentrada i el destil·lat condensat es bomben fora de l'evaporador i serviran per preescalfar l'aigua aliment per mitjà de canviadors de calor. A la figura 4 es mostra un esquema del procés. La compressió es pot realitzar també mitjançant ejectors de vapor i en tal cas es denomina tèrmica. El vapor es comprimeix tèrmicament amb l'aportació de vapor procedent d'una caldera. Aquest procediment permet treballar a temperatures inferiors, però el rendiment de compressió dels ejectors és baix.

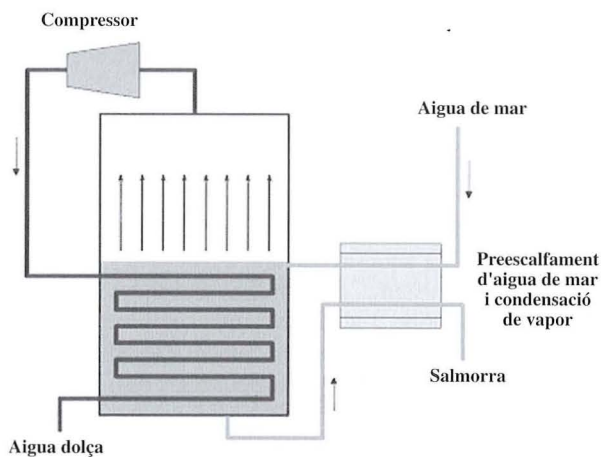


Figura 4. Evaporació amb compressió de vapor.

Enfront dels sistemes d'evaporació descrits més amunt que són apropiats per a grans instal·lacions, la compressió de vapor permet realitzar instal·lacions modulars de qualsevol capacitat a partir d'uns 400 m³/dia. Els mòduls poden ser de fins a 1.500 m³/dia, i si es col·loquen elements en paral·lel, se'n poden assolir les capacitats desitjades.

1.2. Tècniques de membrana

Les tècniques de membrana són l'osmosi inversa i l'electrodiàlisi. El consum energètic dels processos de membranes és significativament menor que el necessari en els d'evaporació.

Osmosi inversa

L'osmosi inversa utilitza membranes semipermeables per a la separació de sals, ja que aquestes membranes permeten el pas d'aigua a través d'aquestes i limiten el pas de les sals dissoltes. Perquè el flux d'aigua siga possible a través de les membranes, s'hi ha d'aplicar una pressió superior a la pressió osmòtica de la dissolució que, alhora, depén de la concentració de sals. Les instal·lacions d'osmosi inversa per a aigües salobres amb un contingut en sals d'uns 5 g/L, poden necessitar pressions de l'ordre de 12 kg/cm², mentre que les d'aigua de mar poden requerir fins als 70 kg/cm².

El fonament de l'osmosi inversa es pot entendre observant la figura 5, en què un compartiment amb aigua pura es posa en contacte a través d'una membrana semipermeable amb un altre compartiment que conté una solució concentrada en sals.

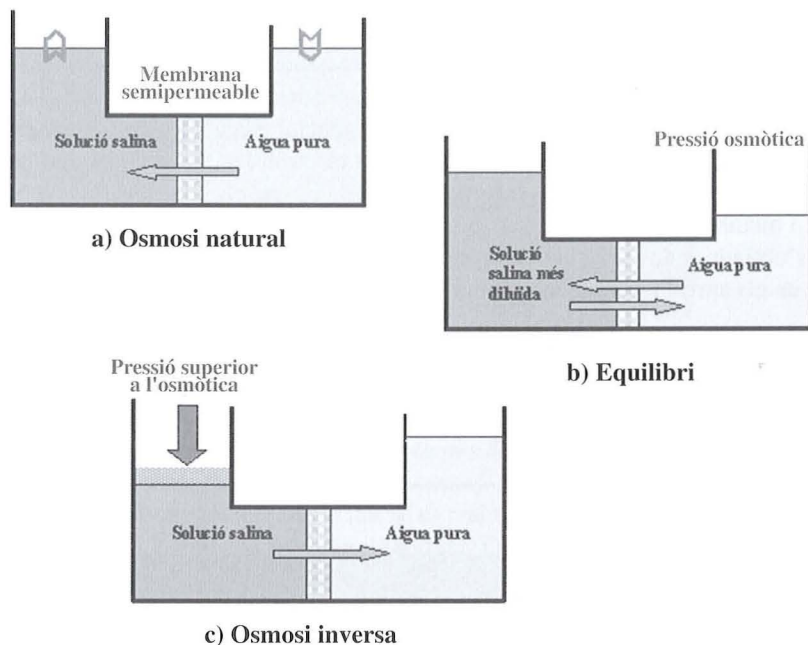


Figura 5. Fenomen d'osmosi inversa.

Inicialment, el potencial químic (que és una mesura de l'energia interna d'un sistema) de l'aigua pura és major que el de la solució salina, per la qual cosa l'aigua tendirà a passar cap a la solució amb sals, i es produirà el fenomen de l'osmosi natural (fig. 5.a.), diluint-la i augmentant el seu potencial químic. Les alçades en cada compartiment es van desequilibrant, la pressió hidrostàtica de la solució salina hi augmenta i la pressió hidrostàtica del costat de l'aigua dolça hi disminueix, amb la qual cosa es van igualant els potencials químics. El flux net entre ambdues solucions es fa igual a zero quan s'assoleix l'equilibri

osmòtic, és a dir, quan s'igualen els potencials químics d'ambdues solucions. A partir d'aleshores es produirà un transport d'aigua cap als costats de la membrana de forma equilibrada (fig. 5.b.). La diferència de pressió hidrostàtica que s'estableix entre ambdós compartiments, es coneix com pressió osmòtica, π , de la solució concentrada en qüestió.

L'osmosi inversa pretén que aquest fenomen es realitze en sentit contrari. Si volem que l'aigua d'una solució salina fluesca cap al costat de l'aigua pura o solució diluïda per separar-la de les sals, hem d'augmentar mecànicament el seu potencial químic. Açò es pot realitzar aplicant una pressió superior a la pressió osmòtica, amb la qual cosa s'aconseguirà que passe aigua a través de la membrana en sentit invers al descrit amb anterioritat (fig. 5.c.).

Electrodiàlisi

Les sals dissoltes en aigua es troben dissociades en cations i anions. L'electrodiàlisi és un procés que utilitza membranes provistes de càrrega iònica que no deixen passar determinats ions en funció de la seua càrrega electrostàtica, açò és, són selectives respecte a ions de càrrega determinada. El procés es pot entendre observant la figura 6. La força impulsora que obliga a desplaçar els ions és un potencial elèctric que es manté entre dos elèctrodes situats als costats oposats de la cèl·lula electrofílica. S'hi col·loquen de forma alternativa membranes aniòniques, que només deixen passar els ions negatius i refusen els positius, i membranes catiòniques, de característiques oposades a les anteriors. D'aquesta manera s'obtidran dos tipus de compartiments. En uns l'aigua estarà quasi desprovista d'ions, i en els altres, tindrem una salmorra.

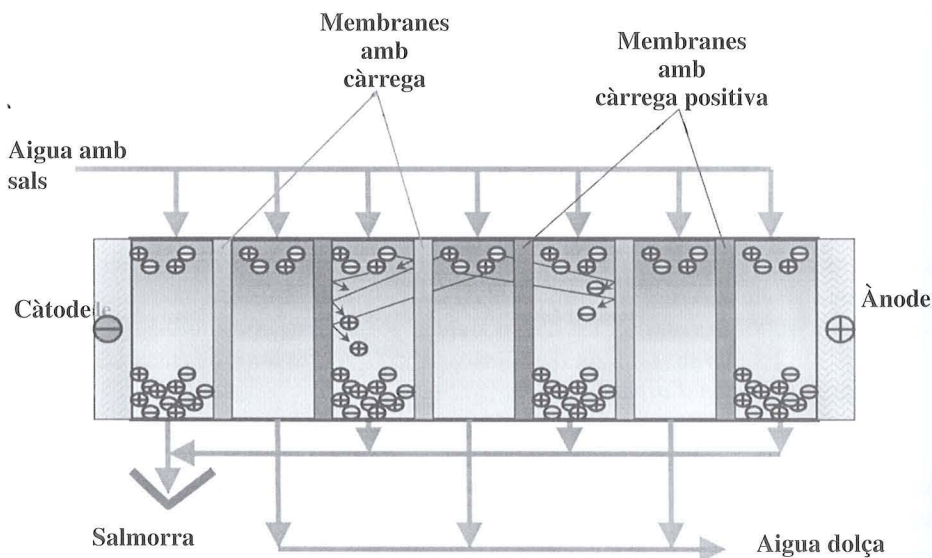


Figura 6. Electrodiàlisi.

2. Evolució i situació actual

Les instal·lacions industrials de gran capacitat de dessalatge es van començar a construir ja al segle xx, a principis de la dècada dels 60, amb una evolució de creixement constant, encara que amb ritme distint, tal com es mostra a la figura 7.

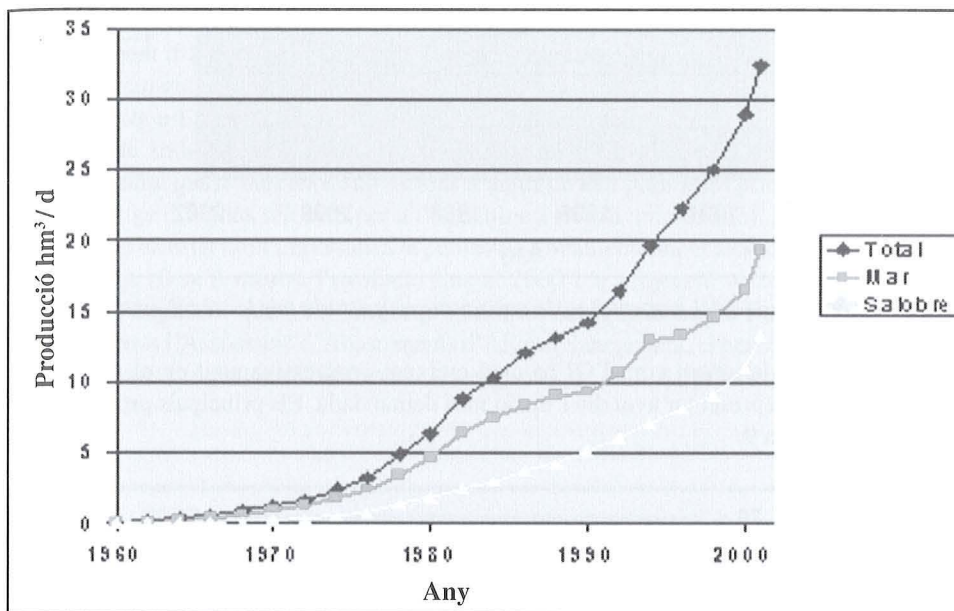


Figura 7. Evolució de la capacitat contractada de producció d'aigua dolça al món a partir d'aigua salobre i aigua de mar per a plantes de més de 100 m³/d.

S'hi pot observar que el creixement inicial es realitza a un ritme moderat fins al període 1974-1984, en què es produeix un auge important. Després es produeix una ralentització en l'increment de la producció fins que el 1990 comença un nou relançament. En els darrers 6 anys, així com les perspectives per als propers anys, es pot dir que el creixement és espectacular, tot assolint-se a finals del 2001 una capacitat contractada acumulada arreu del món de 32,4 hm³/dia d'aigua dolça (13,3 hm³/dia obtinguts a partir d'aigua salobre i 19,4 hm³/dia obtinguts a partir d'aigua de mar), segons les dades de l'Associació Internacional de Dessalatge, IDA (2002, núm. 17), amb un total de 15.233 unitats de dessalatge. Durant el període 2000-2001 es va contractar un total de 5,8 hm³/d, que va representar un creixement de més del 100 % respecte als dos anys anteriors.

Les tècniques majoritàriament contractades han estat les d'evaporació sobtada multietapa (MSF) i osmosi inversa (OI). A la figura 8 es pot observar com ha evolucionat el percentatge de producció contractada per a cadascuna d'aquestes tècniques.

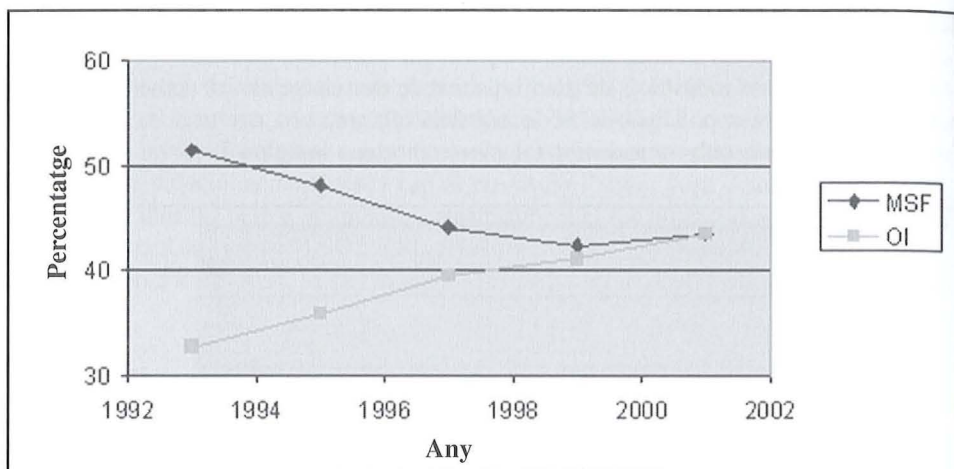


Figura 8. Evolució del percentatge de capacitat contractada per les tècniques MSF i OI.

S'hi observa clarament com l'OI ha anat creixent progressivament en el mercat del dessalatge fins a representar avui dia l'opció més demandada. Els principals productors es mostren a la figura 9.

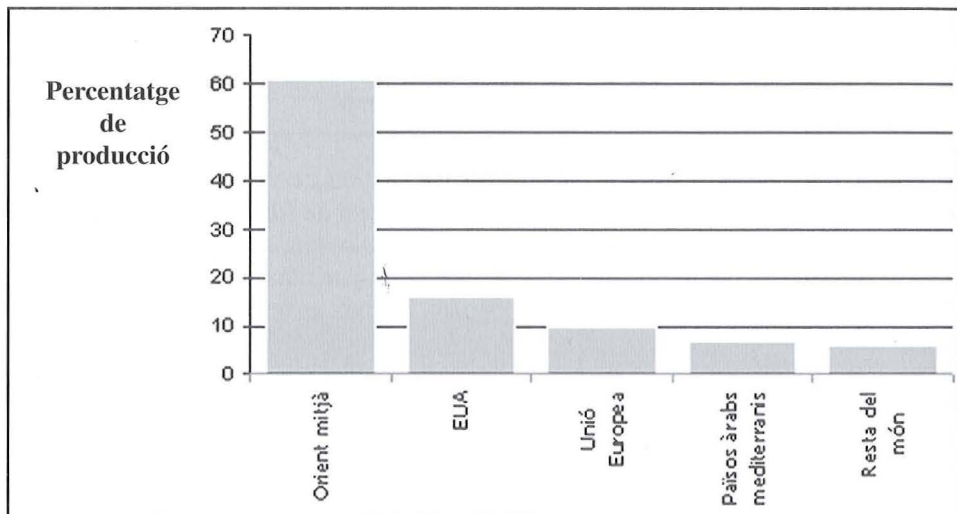


Figura 9. Principals països i regions productors.

És significatiu que la major producció es trobe a l'Àrab Saudita amb un 26,8 % del total, seguida dels Estats Units amb un 15,7 %, els Emirats Àrabs amb l'11,1 % i Kuwait amb el 8,1 %, tots països productors de petroli; per tant, països amb uns costos energètics molt baixos, i tres d'aquests molt àrids (aquest fet va facilitar la implantació d'instal·lacions

de dessalatge en aquests països àrabs en la dècada dels 60, que per les grans dimensions de les seues instal·lacions encara suposen un percentatge important del total mundial).

Als EUA, que no tenen en general tants problemes d'aridesa, les instal·lacions són preferentment d'aigua salobre i per a usos tant urbans com industrials; mentre que als països àrabs, les plantes són fonamentalment d'aigua de mar i s'usen per a abastaments urbans. En general, es pot afirmar que als països amb una escassetesa important d'aigua i amb recursos energètics importants, el dessalatge s'ha implantat extensament com a font d'abastament d'aigua (per exemple a Bahrain, Kuwait, Qatar o als Emirats Àrabs aquest subministrament suposa més de 600 L/hab.dia).

Respecte a Espanya, fins fa pocs anys, la història del dessalatge ha estat directament relacionada amb les necessitats i el desenvolupament turístic de les Canàries, ja que s'hi han concentrat quasi totes les instal·lacions d'aigua de mar (també les primeres instal·lacions de dessalatge d'aigües salobres per a l'agricultura es van muntar allà). En anys recents, el creixement ha estat molt important a la península, fonamentalment al Sud-est i a les Balears. A la figura 10 se'n mostra l'evolució fins al 2000 i la projecció al 2004, en què es pot observar l'expansió que s'ha vingut produint en les aplicacions a l'agricultura. D'altra banda, segons l'Associació d'Abastaments d'Aigua i Sanejament, el percentatge d'espanyols que consumeix aigua dessalada se situarà enguany en un 5 %, pràcticament el doble que l'any 2000.

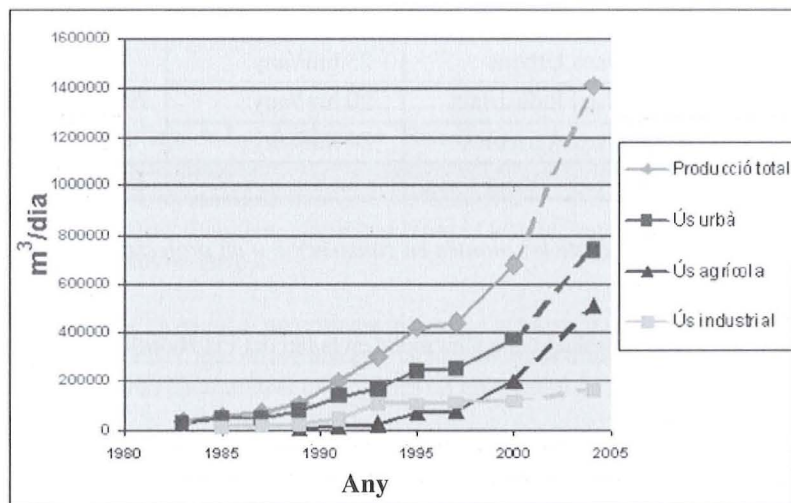


Figura 10. Evolució i usos de l'aigua dessalada a Espanya.

En l'any 2000, en conjunt la utilització d'aigües salobres i de mar suposava a Espanya una aportació al cycle hidrològic d'uns 250 hm³/any (700.000 m³/dia), distribuïts tal com s'indica a la taula 1 (Medina, 2000).

Aigua de mar	Usos Urbans	110,0 hm ³ /any	117,3 hm ³ /any
	Usos Agrícoles	7,3 hm ³ /any	
Aigua salobre	Usos Urbans	25,8 hm ³ /any	131,8 hm ³ /any
	Usos Industrials	40,5 hm ³ /any	
	Usos Agrícoles	65,5 hm ³ /any	
Total			249,1 hm ³ /any

Taula 1. Capacitat instal·lada a Espanya 2000.

Aquestes xifres bastants cridaneres, i que ens converteixen en la 5a o 6a potència a escala mundial, a penes representen el 0,9 % de les disponibilitats d'aigua al nostre país, estimades en uns 25.000 hm³/any. Però, malgrat això, no s'ha de menystenir el paper que està jugant en determinades regions o illes, com ocorre, per exemple, a Lanzarote o Fuerteventura, on suposa el 100 % i el 98 % dels recursos disponibles, respectivament.

A més a més, amb les previsions basades únicament en els contractes que s'estan duent a terme dels darrers 3 anys, a finals del 2003, se n'hauria duplicat la producció, segons es pot observar a la taula 2.

Aigua de mar	Usos Urbans	107,4 hm ³ /any	187,4 hm ³ /any
	Usos Agrícoles	80 hm ³ /any	
Aigua salobre	Usos Urbans	25 hm ³ /any	79 hm ³ /any
	Usos Industrials	20 hm ³ /any	
	Usos Agrícoles	34 hm ³ /any	
Total			266,4 hm ³ /any

Taula 2. Capacitat total de les plantes en construcció o en projecte a Espanya (2000-2003).

Les instal·lacions de dessalatge que s'inclouen en la llei del Pla Hidrològic Nacional són:

Conca del Sud:

Dessaladores a Campo Dalías.

Dessaladores d'aigua de mar de Carboneras.

Dessaladores d'aigua de mar de Carboneras. Fase II.

Dessaladores a El Atabal.

Àrea Hidrogràfica de Melilla:

Dessaladora de Melilla.

Conca del Segura:

Ampliació de la dessaladora de la Mancomunitat dels Canals del Taibilla a Alacant.

Dessaladora al Campo de Cartagena.

Planta dessaladora per a regs a Múrcia.
 Planta dessaladora a l'Alt Sangonera.
 Planta dessaladora «La Pedrera».
 Planta dessaladora. Millora de la qualitat a Pilar de la Foradada.
 Ampliació de la dessaladora de la Mancomunitat del Canal del Taibilla a Múrcia.

Balears:

Ampliació de la dessaladora de la Badia de Palma. (Línies 8, 9 i dipòsit)
 Ampliació de la dessaladora de la Badia de Palma. Fase II
 Dessalinitzadora de Menorca
 Dessaladores a Mallorca
 Dessaladora d'Eivissa (Santa Eulària)
 Ampliació de la dessaladora de Formentera.

Las Palmas:

Dessaladora de Sant Bartolomé i Mogan.
 Dessaladora d'Arucas-Moya. Fase II.
 Ampliació de l'estació dessaladora d'aigua de mar de Guia (Fase II).
 Millora i ampliació de la dessaladora Las Palmas III.
 Dessalatge d'aigua de mar a Fuerteventura.
 Dessaladora d'aigua de mar de Las Palmas-Telde.
 Ampliació dessaladora Lanzarote IV.
 Dessaladora Puerto del Rosario (Fase I i II).

Tenerife:

Dessaladora de la platja de Les Amèriques. Fase II.
 Dessaladora de Granadilla.
 Dessaladora d'aigua de mar de Santa Cruz de Tenerife.
 Estacions dessaladoras d'aigües salobres al Nord i Oest de Tenerife.
 Dessaladora de Januvio. Fase I.

En l'actualitat s'ha exposat un projecte alternatiu al Govern socialista al transvasament de l'Ebre previst al PHN, que inclou una aportació addicional d'aigua a la conca mediterrània via dessalatge de 400 hectòmetres cúbics més en un termini de 4 a 5 anys.

3. Costos del dessalatge

En el càlcul de costos d'obtenció d'aigua dolça a partir d'aigua salobre o aigua del mar influeixen múltiples variables. Els aspectes a considerar són:

- *Qualitat de l'aigua d'aportació.* En totes les tècniques, i sobretot en les de membrana, la salinitat de l'aigua i la presència o no de substàncies contaminants (matèria orgànica, microorganismes, metalls, etc.), estan directament relacionades amb el pretractament a aplicar i amb el consum energètic requerit. Aquests factors influeixen en els costos d'instal·lació i d'operació.

- *Tecnologia utilitzada.* Les distintes tecnologies condueixen a costos distints. En general, les tècniques d'evaporació requereixen costos d'inversió més elevats que les tècniques de membranes i també hi ha diferències en els costos d'operació, fonamentalment en els derivats de l'energia.
- *Qualitat requerida en el producte.* Evidentment no és igual obtenir aigua d'abastament amb la qualitat de potable (que requerirà complir la normativa vigent) que una aigua per a reg o una aigua per a ús industrial. En cada cas els components de la instal·lació poden variar i el posttractament de l'aigua dessalada dependrà de l'ús a què estiga destinada.

Si centrem l'anàlisi en les instal·lacions de membranes, que com s'ha comentat tenen un consum energètic menor i són des de fa una desena d'anys les úniques que es construeixen al nostre país, i concretament en osmosi inversa (l'electrodiàlisi té el camp d'aplicació limitat a aigües salobres), es poden fer les consideracions següents:

Respecte de la inversió que cal realitzar per a aigua de mar es pot xifrar en uns 750 euros/m³ de producció/dia per a instal·lacions al voltant dels 25.000 m³/dia de producció, i poden variar en funció de la grandària entre 570 euros/m³/dia per a instal·lacions majors de 100.000 m³/dia, i 1.050 euros/m³/dia per a instal·lacions inferiors als 5.000 m³/dia. Aquestes xifres, segons els tipus d'interès actuals, suposen un cost d'amortització d'uns 0,20-0,30 euros/m³ d'aigua produïts.

Respecte del cost de l'energia resulta cridanera la millora en el rendiment energètic, com es mostra a la figura 11, en què es reflecteix com han evolucionat a Espanya al llarg dels anys els consums energètics de les plantes dessaladores d'aigua de mar.

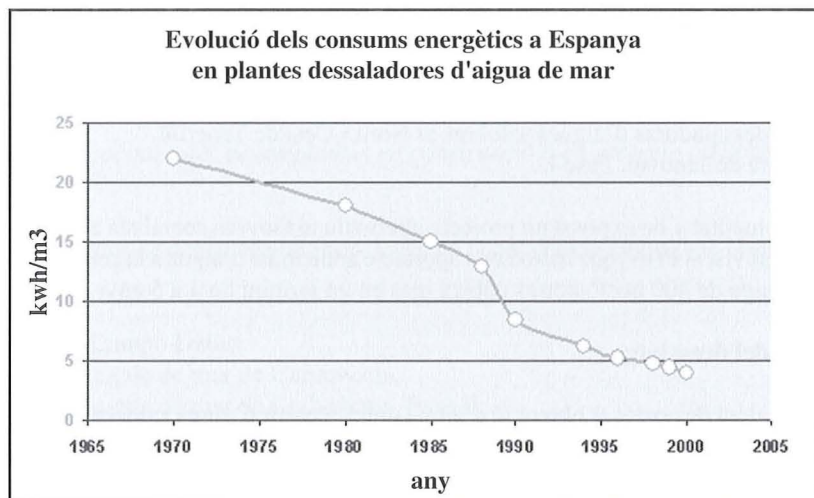


Figura 11. Evolució dels consums energètics per a la producció d'aigua dolça a partir d'aigua de mar. Dades reals per a dessaladores instal·lades a Espanya.

Si estimem 0,05 euros/kWh, el cost de la partida d'energia (per a 4 kWh/m³ produït) és d'uns 0,20 euros/m³.

El conjunt de costos es pot distribuir aproximadament com s'indica a la figura 12.

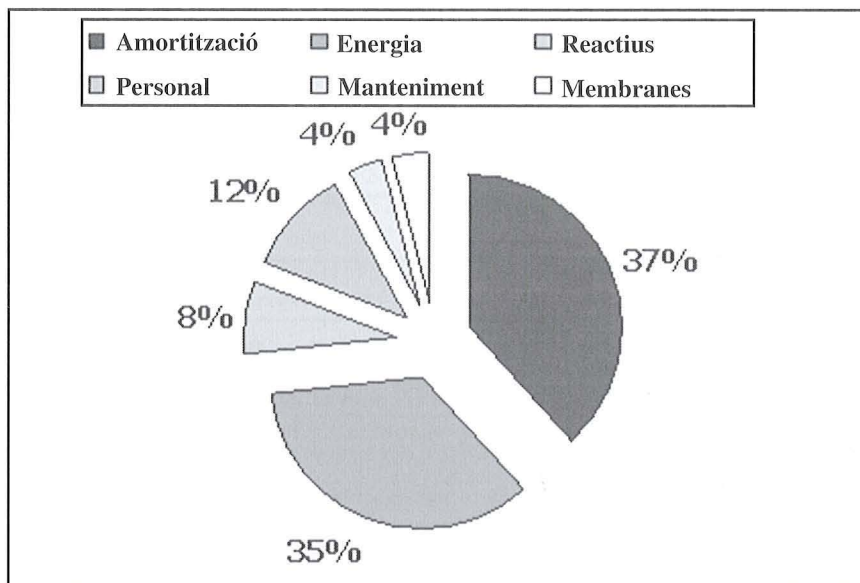


Figura 12. Distribució aproximada de costos per a dessalatge d'aigua de mar. L'estimació s'ha realitzat considerant una planta de producció d'uns 20.000 m³/dia, amb un cost d'inversió de 750 euros/m³ produït/dia, aplicant un criteri d'amortització del 6 % en 15 anys i amb un cost per a l'energia elèctrica de 0,05 euros/kWh.

Respecte dels costos totals, l'Associació Espanyola de Dessalatge i Reutilització ha realitzat un estudi sobre l'evolució de costos totals mínims d'aigua de mar dessalada a Espanya, considerant instal·lacions de gran capacitat (superior a 100.000 m³/dia) amb funcionament ininterromput i suposant que la captació d'aigua de mar no genera complicacions en l'exploració. L'evolució es mostra a la figura 13, on s'assoleixen costos totals inferiors a 0,50 euros/m³. Per a d'altres situacions els costos finals poden arribar a 0,85 euros/m³.

En el cas de dessalatge d'aigües salobres, els costos tant de construcció com d'operació es redueixen de manera notable, a causa, fonamentalment, del fet que les pressions de treball són molt més reduïdes. Per a instal·lacions mitjanes, la inversió és de l'ordre de 300 – 400 euros/m³ de producció/dia i els consums energètics d'1,2 – 1,5 kWh/m³, la qual cosa condueix a uns costos finals d'aigua produïda de 0,20 a 0,30 euros/m³.

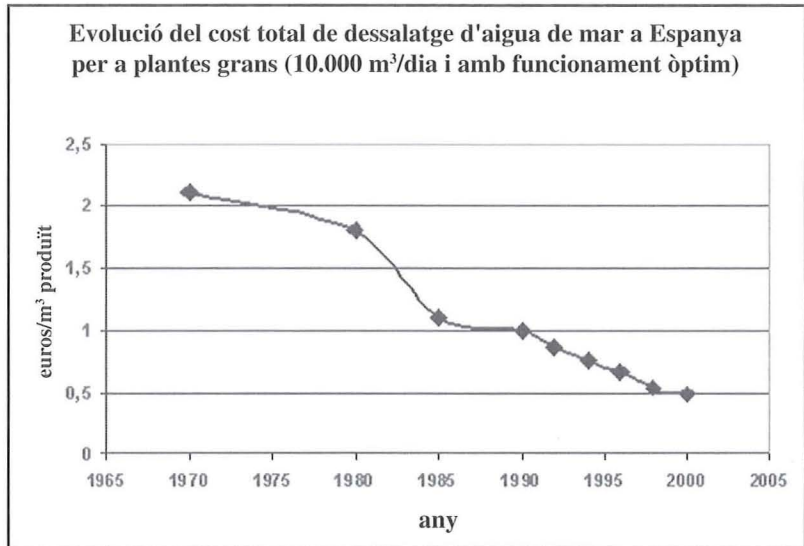


Figura 13. Evolució dels costos totals per a dessalatge d'aigua de mar a Espanya amb dessaladores de gran capacitat.

Finalment, convé ressaltar alguns aspectes importants que ja s'han apuntat:

- El cost de l'aigua dessalada està molt lligat al cost de l'energia, que en la major part dels casos és el cost més alt de tots els que influeixen en el preu final de l'aigua dessalada. El consum i preu de l'energia s'ha reduït en forma notable a aquell abaratiment dels costos finals de l'aigua produïda. Ara bé, és raonable mantenir una certa incertesa sobre com pot evolucionar el cost de l'energia a mitjà i llarg termini, la qual cosa apunta al fet que, sempre que això siga possible, el dessalatge d'aigües s'haja d'utilitzar com a complement d'altres recursos menys dependents del cost de l'energia.
- La presa d'aigua, sobretot en el cas d'aigua de mar, és un factor que s'ha d'analitzar amb cura per garantir el funcionament correcte a costos mínims.
- Com es comentarà en acabant, l'abocament adient de salmorres és un tema d'importància cabdal per protegir el medi receptor. Cal incloure, per tant, una anàlisi pormenoritzada i quantificada de la solució adoptada per a l'abocament que, de vegades, no rep l'atenció suficient i també pot afectar de manera significativa els costos finals.

4. Efectes ambientals del dessalatge

Els principals problemes associats a l'obtenció d'aigua dolça a partir d'aigua salobre o aigua de mar són el consum d'energia i l'eliminació del corrent de rebuig o salmorres.

4.1 Consum d'energia

Com s'ha comentat, el consum d'energia varia en funció de la tècnica emprada i del tipus d'aigua a tractar. En el cas d'osmosi inversa oscil·la actualment entre uns 4 kWh/m³ per a aigua salobre d'uns 5 g/L de sals dissoltes.

La històrica reducció de consums energètics fins a valors indicats està directament relacionada amb una bona operació de la planta i amb la recuperació mecànica de la pressió de les salmorres (roda Pelton). En l'actualitat s'ha plantejat, i ja n'hi ha algunes plantes de grandària mitjana funcionant, una nova concepció de la recuperació de l'energia de les salmorres, basada en conceptes fluidodinàmics, que permet la transmissió directa de la pressió del rebuig a l'alimentació. Amb aquest sistema s'apunta que es pot arribar a consums específics de l'ordre de 3 kWh/m³.

4.2. Abocament de salmorres

El rebuig o salmorra que conté sals que s'han separat ha d'evacuar-se de manera convenient. En el cas d'aigua de mar, aquest corrent pot contenir fins a 70 g/L de sals (l'aigua de mar conté 35-38 g/L). Cal indicar que es tracta de les mateixes sals que hi ha al mar, no d'altres agents tòxics o contaminants, com en el cas d'efluents de depuradores d'aigües residuals. Per tant, la seua evacuació al mar només ha de tenir afecció en les proximitats del punt d'abocament, on hi haurà unes zones, de major o menor extensió, d'acord amb les condicions fluidodinàmiques, en les quals la concentració de sals serà més gran. Els efectes negatius seran, doncs, locals. En el cas d'efluents d'aigües salobres la incidència és lògicament menor.

Això no obstant, són imprescindibles estudis científics per quantificar aquests efectes. En aquest sentit, fa poc s'han presentat a Múrcia les conclusions d'un estudi pluridisciplinari per analitzar distints aspectes sobre l'abocament de salmorres³:

- S'ha establert un criteri de dimensionament de l'emissari relatiu a la tolerància a la salinitat de la *Posidonia oceanica*, espècie d'alt valor ecològic present al Mediterrani, tenint en compte el «Principi de precaució», és a dir, amb un cert marge de seguretat. El criteri proposat pels grups de recerca estableix:
 - Que s'intenten evitar els abocaments d'aigües sobre les praderies de *Posidonia oceanica*, per a la qual cosa es consideraran preferibles els fons de sorra no vegetats.
 - Si això no fóra possible, l'abocament s'haurà de realitzar de manera que en cap punt de la praderia se supere una salinitat de 38 més del 25 % del temps ni 40 psu més del 5 % del temps. Per a aquests valors la praderia no sofriria cap deteriorament significatiu a causa de la salinitat.

³ Jornada científica: «Análisis de los resultados de las investigaciones sobre vertido al mar de las aguas de rechazo procedentes de estaciones desaladoras». Múrcia, març de 2004.

- Mitjançant l'abocament a través d'emissaris submarins amb brocals que emeten dolls ascendents inclinats, és possible aconseguir dilucions molt més altes que mitjançant l'abocament superficial en la línia de la costa mateixa. Per a un emissari determinat amb brocals difusors, el criteri de dimensionament ha de ser que el doll, el brocal del qual tinga el menor calat, assoleisca la dilució objectiu, sense impactar amb el fons.

Altres solucions ja assajades amb bons resultats per a minimitzar l'impacte són barrejar la salmorra amb aigua residual urbana per al seu abocament conjunt o diluir la salmorra amb aigua de mar (alternativa que s'aplica en algunes dessaladores, com ara la de Xàbia).

En el cas d'aigües salobres i ubicació allunyada de la costa, les situacions poden ser molt diverses i la necessitat d'evacuar adequadament els abocaments condiona i pot en alguns casos fins i tot impossibilitar la viabilitat del dessalatge. De vegades, és possible disposar els abocaments en aqüífers profunds que ja estiguen molt salinitzats.

5. Aspectes rellevants per al desenvolupament futur

Tal com s'ha comentat, un dels principals aspectes a considerar en els processos de dessalatge és el consum energètic. En aquest sentit, el progressiu desenvolupament industrial del procés de dessalinització d'aigua de mar mitjançant osmosi inversa ha promocionat la recerca paral·lela de sistemes que permeteren reduir el consum energètic. Els primers passos en aquestes recerques s'encaminaren cap a l'aprofitament de l'energia residual que portava la salmorra resultant del procés de producció. Així es desenvoluparen sistemes com les turbines d'àleps d'entrada variable, la turbina Francis o bomba de funcionament invertit i la roda Pelton solidària a l'eix motriu de les bombes d'alta pressió. Entre tots els sistemes desenvolupats, la roda Pelton solidària a l'eix motor de les bombes d'alta pressió s'ha mostrat fins ara com el sistema de major eficàcia.

En els darrers anys, s'han desenvolupat les aplicacions d'aprofitament energètic basades en convertors hidràulics; els centrífugs d'ús estés a les unitats de dessalinització d'aigües salobres i els dinàmics, on es podria enquadrar el sistema RO-Kinetic (Barreto i Sanchez, 2000). La definició d'aquesta modalitat de sistemes d'estalvi energètic és la seua capacitat per a transformar la pressió del corrent de rebuig de l'osmosi en pressió positiva per al corrent d'aportació.

El sistema d'estalvi energètic RO-Kinetic es basa en el principi de la incompressibilitat dels líquids. L'aplicació pràctica del principi es du a terme mitjançant l'ús de dues cambres isobàriques en forma de bucle tancat que n'intercanvien el contingut entre l'aigua de mar a osmotitzar i la salmorra resultant del procés osmòtic. Les cambres isobàriques configuren un anell tancat que es comunica entre si mitjançant una vàlvula que permet la transmissió eficient de la pressió de la salmorra a l'aigua d'alimentació.

En instal·lacions pilot existents s'ha aconseguir arribar a consums específics de 2,5 kWh/m³. Algunes de les plantes actualment en disseny o en construcció utilitzaran aquest sistema.

Un altre aspecte important és el desenvolupament de noves membranes d'alt flux d'aigua i alt rebuig de sals. Els avanços en aquest camp són continus i estan permetent reduir la pressió necessària per a l'operació.

També és important la correcta operació per augmentar la vida de les membranes i la utilització de la mínima quantitat de reactius químics. Per això, cal realitzar un pretractament apropiat i partir d'un aigua salobre o de mar de la millor qualitat possible. En aquest sentit, cap apuntar dues tendències importants. Per un costat tractar sempre que siga possible aigua d'aqüífers, en el cas d'aigua salobre, o realitzar la presa d'aigua de mar en pous de platja, enfront de preses en mar obert. D'aquesta manera l'aigua arriba prefiltrada i amb molt pocs organismes i sòlids no solubles. Per altre costat, per a aigües de pitjor qualitat, les tècniques de membrana de microfiltració i ultrafiltració s'apunten com la millor opció, en general, per al pretractament.

6. L'experiència de la Universitat d'Alacant

El campus general de la Universitat d'Alacant es troba ubicat sobre un aqüífer excedentari poc profund (20–30 m) que conté aigua salobre l'elevada salinitat de la qual n'impedeix l'aprofitament, fins i tot com a aigua de reg. En el marc d'un pla de gestió integral de l'aigua al campus (estalvi, reg localitzat, autoabastament, reutilització), el 1995 es van plantejar els avantatges que podria tenir l'aprofitament, amb dessalatge previ, de les aigües salobres de l'aqüífer, per a la qual cosa es va projectar una planta d'osmosi inversa. La instal·lació va ser construïda el 1996 i va entrar en funcionament de forma definitiva pel gener de 1997. Els objectius que s'hi cobreixen són de tres tipus:

1. Subministrar aigua destinada al reg de les zones verdes del campus.
2. Acomplir una funció docent a distints nivells (formació de postgraduats, tècnics, etc.).
3. Programar actuacions d'investigació aplicades a l'optimització del procés de pretractament i minimització del consum energètic.

La capacitat nominal de la planta és de 450 m³/dia. A la figura 14 se'n mostra el diagrama de flux.

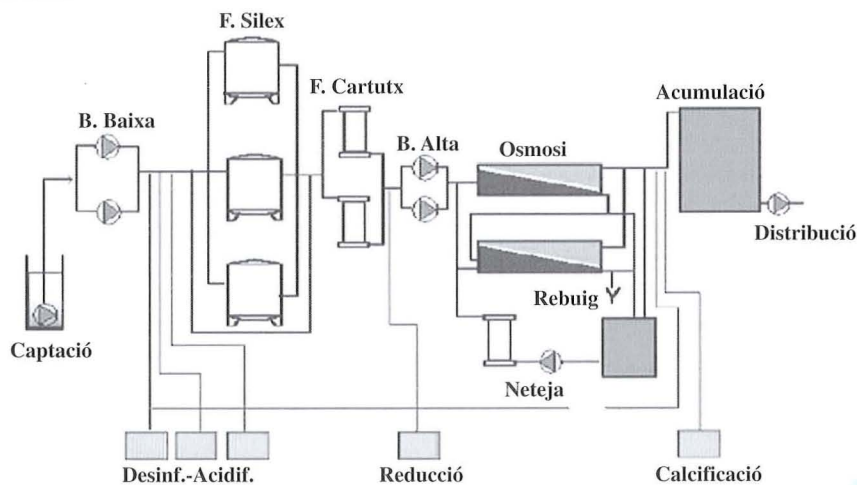


Figura 14. Diagrama de flux de la planta d'osmosi inversa de la Universitat d'Alacant.

Des de la seua posada en marxa, ha estat funcionant amb parades i arrancades freqüents en funció del seu caràcter experimental i de les necessitats d'aigua destinada a reg, sent els períodes de major funcionament continu durant la primavera, l'estiu i part de la tardor. La conductivitat de l'aigua d'aliment no ha sofert variacions notables amb el temps. La concentració de sals de l'aigua producte va augmentant de forma paulatina a causa, per una part, del deteriorament progressiu de les membranes i, per altra part, del fet que durant tot el temps de funcionament no s'ha dut a terme la substitució de cap d'aquestes, en mantenir-se la qualitat de l'aigua produïda dins de paràmetres òptims respecte a l'aplicació que s'està fent d'aquesta.

Els set anys de funcionament de la planta permeten calcular amb dades reals els costos d'operació (Prats i Chillón, 2001). El cost total de l'aigua produïda és de 0,21 euros/m³. El major cost de producció d'aigua dessalada és l'ocasionat pel consum energètic, que és d'1,2 kWh/m produït. A causa que la totalitat d'aigua dolça generada, barrejada amb un 20 % d'aigua salobre de l'aqüífer, s'usa per a reg al campus mateix, hi ha un estalvi important respecte de la utilització anterior d'aigua municipal amb aquesta finalitat. Amb aquesta actuació, la Universitat d'Alacant estalvia uns 120.000 euros a l'any.

Dins de les línies de recerca que s'estan desenvolupant per l'IUACA per al tractament d'aigües tant d'abastament com residuals, s'està estudiant l'eliminació de bor mitjançant membranes (UF i OI). En aquest sentit, està prevista la instal·lació, en aquesta planta dessaladora, d'una nova línia que tractarà per osmosi inversa una part de l'aigua produïda actualment, després de dur-la a pH adient.

BIBLIOGRAFIA

- BARRETO AVERO, M. i J.M. SÁNCHEZ ALONSO (2000): «Sistema de recuperación energética RO-Kinetic: Experiencia adquirida con el sistema en unidades de desalinización de agua de mar», *I Congreso Nacional de la Asociación Española de Desalación y Reutilización*, Murcia, CD Rom.
- IDA (2002): *Worldwide Desalination Plants Inventory Report*, 17.
- MEDINA SAN JUAN, J.A. (2000): «La desalación en el Plan Hidrológico Nacional», Ponència invitada, *Jornadas sobre el Plan Hidrológico*, Alacant, 14 i 15 de desembre de 2000.
- PRATS RICO, D. i M.F. CHILLÓN ARIAS (2001): «Planta desaladora de la Universidad de Alicante», *II Congreso Nacional de la Asociación Española de Desalación y Reutilización*, Alacant, CD Rom.