

Unitat 12

La hidrosfera. El cicle de l'aigua. La contaminació de l'aigua. Mètodes d'anàlisi i depuració. El problema de l'escassetat d'aigua.

1. La hidrosfera.
2. El cicle de l'aigua
3. La contaminació de l'aigua
4. Mètodes d'anàlisi i depuració
5. El problema de l'escassetat d'aigua

1. La hidrosfera

La hidrosfera és pot definir com una capa discontinua de la Terra, formada per aigua que constitueix les tres quartes parts de la superfície terrestre. Els oceans, els mars, els rius, els llacs, els glaços polars i les aigües subterrànies formen part de la hidrosfera.

L'aigua es troba en el nostre planeta en els seus tres estats físics: gel (sòlida), líquida i vapor (gasosa). L'aigua es distribueix entre l'atmosfera, els continents i els oceans. Als **mars i oceans** trobem la major part de l'aigua: **97,2%**; el **2,8%** restant es troba als **continents** -formant **glaceres** (2,2%), **aigües subterrànies** (0,6%), **rius i llacs** (0,02%)-, i a l'**atmosfera**, en forma de **vapor** (0,001%)

2. El cicle de l'aigua

Els diferents compartiments de què consta la hidrosfera estan tots connectats i l'aigua hi circula descrivint un circuit tancat que anomenen cicle de l'aigua o cicle hidrològic.

El cicle hidrològic és un procés de tres etapes en el qual l'aigua del mar i dels continents passa a l'atmosfera on es condensa i precipita sobre la superfície de la Terra, des d'on retornarà al mar.

- 1. Evaporació.** L'aigua dels oceans i dels continents, per l'acció del Sol, s'evapora i passa a l'atmosfera en forma de vapor. També els éssers vius aporten aigua a l'atmosfera mitjançant la **transpiració**, que és especialment important a les grans masses forestals. Normalment s'utilitza el terme **evapotranspiració** per referir-se a la suma dels processos d'evaporació i transpiració que aporten vapor d'aigua a l'atmosfera.
- 2. Precipitació.** El refredament del vapor d'aigua ascendent produeix la seva **condensació** i la formació dels núvols, i per mitjà de la **precipitació**, l'aigua es retorna en forma líquida o sòlida a la superfície terrestre.
- 3. Escorrentia.** Una bona part de l'aigua de les precipitacions cau al mar, però la resta cau als continents. La precipitació que cau sobre la superfície seguirà diferents camins abans de retornar a l'inici del cicle. Una part de l'aigua serà aprofitada pels éssers vius i retornarà a l'atmosfera per transpiració. Una altra part va a parar al mar mitjançant **l'escorrentia superficial**, que es pot produir a través de les lleres del riu i torrents. En el camí cap al mar es produeix una filtració cap al subsòl que forma **l'escorrentia subterrània**. L'aigua es pot **emmagatzemar** a la superfície, en llacs o embassaments superficials, i també als aqüífers subterranis. El sistema d'escorrentia, infiltració i emmagatzematge és interactiu ja que hi ha un flux continu entre tots els sistemes.

El balanç hídric

El terme balanç hídric reflecteix la relació entre les aportacions d'aigua (precipitacions), les sortides (evapotranspiració) i les descàrregues subterrànies o superficials (escorrenties subterrània i superficial).

Si considerem el total del planeta:

▪ Evaporació als oceans	$361 \times 10^3 \text{ km}^3$
▪ Evapotranspiració als continents	$62 \times 10^3 \text{ km}^3$
▪ Precipitació sobre els oceans	$324 \times 10^3 \text{ km}^3$
▪ Precipitació sobre els continents	$99 \times 10^3 \text{ km}^3$

Podem observar que, tot i que el balanç total és 0, **evaporació total = precipitació total**, hi ha un **dèficit de precipitació sobre els oceans** ($-37 \times 10^3 \text{ km}^3$) i un **superàvit de la mateixa magnitud** ($+37 \times 10^3 \text{ km}^3$) **sobre els continents**. L'excés de precipitació dels continents és retornat als oceans mitjançant les **escorrenties** superficial i subterrània.

En l'àmbit regional, pot ser que les entrades i sortides d'aigua no estiguin equilibrades.

3. La contaminació de l'aigua

Focus i agents contaminants

Segons el seu origen es pot parlar de dos tipus de contaminació, natural i antròpica, sent aquesta última molt més greu.

Contaminació natural

Consisteix en la presència de determinades substàncies a l'aigua sense que intervingui l'acció de l'ésser humà. Aquestes substàncies poden ser: partícules sòlides i gasos atmosfèrics arrossegats per la pluja i les aigües de desglaç; pol·len, espores, fullaraca i altres residus vegetals, així com excrements de peixos i aus aquàtiques. Tots aquests residus naturals pateixen una sèrie de processos químics i biològics que constitueixen la capacitat d'autodepuració dels ecosistemes aquàtics i que, en part són eliminats.

Contaminació antròpica

Produïda de manera directa o indirecta per l'activitat humana.

Segons la forma de produir-se pot ser:

- *Difosa*: quan l'origen no està ben definit; apareix en zones àmplies i no té un focus emissor concret. La contaminació produïda per fertilitzants i productes fitosanitaris en àmplies zones agrícoles o la deposició de contaminants atmosfèrics, pertanyen a aquest tipus.
- *Localitzada o puntual*: quan és produïda per un focus emissor determinat i afecta a zones concretes. La contaminació produïda per nuclis urbans o industrials, pertany a aquest tipus.

Les activitats humanes que originen la contaminació de les aigües són de diversos tipus:

- Industrial
- Agrícola i ramadera
- Urbana
- Minera
- Navegació

Agents contaminants i efectes

Hi ha un gran nombre de contaminants de l'aigua, contribuint tots ells a alterar l'estat físic, químic i biològic de l'aigua: alteracions com, el color, el gust, la terbolesa, l'olor, el pH, la quantitat d'oxigen dissolt, la temperatura, la conductivitat de l'aigua, etc.

Alguns dels agents contaminants són els següents:

- Microorganismes patògens. Virus, bacteris, protozous, platihelminths i nematohelminths, que transmeten malalties diverses com la febre tifoidea, disenteries, còlera, gastroenteritis, etc. que arriben a l'aigua majoritàriament a través de femtes de persones infectades.
- Residus orgànics, parcial o totalment biodegradables, produïts per l'activitat humana en la seva majoria, inclou femtes i altres materials que poden ser descompostes per bacteris aeròbics. Quan aquest tipus de residus es troben en quantitat excessiva, la proliferació de bacteris esgota l'oxigen i desapareixen d'aquelles aigües peixos i altres éssers vius que necessiten oxigen per viure.
- Substàncies químiques inorgàniques, com àcids, sals, i metalls pesants (mercuri, plom, etc). Aquestes substàncies produeixen canvis en el pH de l'aigua, acidificant o alcalinitzant el medi, alterant els processos químics que tenen lloc a l'aigua i/o dificultant la vida de determinats organismes. Alguns metalls són altament tòxics o cancerígens.
- Nutrients vegetals inorgànics, com nitrats i fosfats, substàncies necessàries per al desenvolupament de les plantes però que en quantitat excessiva indueixen el creixement desmesurat d'algues i altres organismes portant a una eutrofització de les aigües.
- Compostos orgànics, no biodegradables, com petroli, benzina, detergents, dissolvents, plaguicides, etc.
- Sediments i materials en suspensió, la terbolesa que produeixen en l'aigua dificulta la vida de molts organismes, dificulta el pas de la llum i provoca una alteració de l'activitat fotosintètica.
- Substàncies radioactives, passen a la cadena tròfica produint mutacions, morts directes,...
- L'aigua usada en processos industrials com a refrigerant i alliberada posteriorment als rius altera la temperatura de les aigües i provoca una reducció de la quantitat d'oxigen dissolt. Desapareixen moltes espècies no resistents als canvis de temperatura.

4. Mètodes d'anàlisi i depuració

L'anàlisi de les aigües

Alguns dels paràmetres que s'han d'avaluar en un anàlisi d'aigües són els següents:

a) Paràmetres organolèptiques

- **Color**, les aigües naturals poden presentar coloracions degudes fonamentalment a la presència de matèria orgànica i de compostos de ferro, manganès, crom o altres ions.
- **Olor**, deguda principalment a compostos orgànics en descomposició, fenols, clor i derivats i microorganismes.
- **Gust**, molt lligat a l'olor. Clorurs i sulfats donen un sabor salat, fenols i sals de coure, zinc o ferro donen un sabor metàl·lic.

b) Paràmetres fisicoquímics

- **Demanda d'oxigen i matèria orgànica**. La matèria orgànica aportada a les aigües (hidrocarburs, proteïnes, greixos...) té la propietat d'oxidar-se. Els diversos paràmetres que mesuren la quantitat d'oxigen necessari per oxidar totalment o parcialment la matèria

orgànica es basen en aquesta propietat. Són paràmetres que s'utilitzen per mesurar el grau de contaminació orgànica de les aigües.

- **DQO** o demanda química d'oxigen
- **DBO₅** o demanda bioquímica d'oxigen al cap de cinc dies
- **COT** o carboni orgànic total
- **Índex del permanganat**

- **Anions.** N'hi ha de molts tipus. Els **clorurs** i els **sulfats** aporten una important salinitat a les aigües i poden ser corrosius o bé formar dipòsits molt durs. Els **fosfats** i els **nitrats**, juntament amb altres compostos nitrogenats, ocasionen fenòmens d'eutrofització de les aigües.
 - **Cations.** La suma de les concentracions de **calci** i **magnesi** determina la duresa de les aigües. El **sodi** dona idea de la salinitat. L'**amoní** deriva de la presència de fertilitzants. La varietat de **ions metàl·lics** que podem trobar a l'aigua és molt gran, alguns (cadmi, crom, mercuri) altament tòxics.
 - **Sòlids.** Poden ser SDT (sòlids dissolts totals), donen un aspecte desagradable i poden formar dipòsits i incrustacions i SST (sòlids en suspensió totals), provoquen la terbolesa de l'aigua.
 - **Temperatura.** Una temperatura elevada implica una acceleració dels processos de putrefacció. Els canvis bruscos de temperatura poden provocar la desaparició d'espècies. La concentració d'oxigen dissolt també està lligat amb la temperatura, a l'augmentar la temperatura disminueix la concentració d'oxigen.
 - **Conductivitat elèctrica.** Paràmetre lligat amb la concentració de salts dissoltes a l'aigua, com més salinitat més conductivitat.
 - **pH.** Mesura l'acidesa o basicitat de l'aigua. La vida, en general, es desenvolupa millor en pH neutre.
 - **Formació d'escuma.** És una característica de les aigües contaminades amb detergents sintètics.
- c) Paràmetres microbiològics. Especialment important en les aigües destinades al consum humà. A les aigües es poden trobar molts microorganismes d'origen fecal que són difícils de detectar. Com a paràmetre microbiològic s'utilitza la presència de determinats microorganismes que reben el nom d'indicadors. Un bon indicador és la presència de bacteris coliformes presents a l'aigua.
- d) Radioactivitat. L'augment de radioactivitat de les aigües en determinats punts és especialment perillosa per a la salut pública.

Tractament i depuració de les aigües

Per determinar la qualitat de l'aigua s'utilitzen diversos índexs de qualitat, es tracta de fórmules globals en les quals es tenen en compte diversos paràmetres. D'entre els índexs de qualitat existents, el més utilitzat a Catalunya és l'**ISQA** (índex simplificat de qualitat de l'aigua). Es basa en paràmetres com: la temperatura, els sòlids en suspensió, l'oxigen dissolt, la conductivitat elèctrica i les demandes d'oxigen. Pren valors entre 0 i 100. A partir d'un ISQA de 85, l'aigua pot ser potabilitzada per mètodes comuns.

Per establir si un aigua determinada té la qualitat necessària per a l'ús que se li vol donar, cal fer-ne un anàlisi. En el cas que la qualitat no sigui la més adient, caldrà aplicar el tractament corresponent.

Potabilització

Consisteix en tractar l'aigua amb el fi d'obtenir aigua potable, és a dir, apta per al consum humà. Els tractaments de potabilització comprenen les operacions següents:

1. **Desbast.** Consisteix en l'eliminació de les partícules sòlides de dimensió gran. S'efectua fent passar l'aigua a través de reixes cada cop més petites. Per acabar aquesta fase també es pot tamisar o filtrar l'aigua amb sistemes que impedeixin el pas de partícules entre 2 i 5 mm
2. **Clarificació.** Eliminació de la torbesa, color i contingut de matèria en suspensió i matèria orgànica. Aquest procés consta de tres etapes:
 - I. *Coagulació.* Fa coagular els sòlids en dissolució col·loïdal.
 - II. *Floculació.* Agrupa les partícules obtingudes en l'etapa anterior de manera que formin flocs de més pes, que sedimenten.
 - III. *Decantació.* Separació de les dues fases (aigua i sòlids) per sedimentació dels sòlids.
3. **Filtració.** Eliminació de les partícules que hagin pogut escapar de la decantació. Es realitza fent passar l'aigua per un llit filtrant granular de materials disposats en capes de diferents granulometries.
4. **Desinfecció.** Eliminació de la presència de gèrmens que podrien constituir fonts de malalties i epidèmies. Els desinfectants més utilitzats són:
 - Clor i derivats com l'hipoclorit sòdic (lleixiu). Actuen sobre les cèl·lules dels gèrmens danyant la paret cel·lular, alterant la permeabilitat de les seves membranes, inhibint l'activitat enzimàtica, etc.
 - Ozó. Té propietats bactericides similars o superiors a les del clor i és més efectiu en l'eliminació dels virus. També s'utilitza per a la reducció del color, del gust i les olors, dels detergents i altres compostos.
 - Raigs ultraviolats. Mitjançant la seva utilització s'obté una bona desinfecció i una eliminació completa de virus.

Depuració d'aigües residuals

Després del seu ús, les aigües han de ser tractades abans de ser retornades al medi per tal que tinguin unes característiques físiques, químiques i biològiques tan semblants com sigui possible al seu estat natural.

En una estació depuradora convencional podem diferenciar:

- a) una línia d'aigua. És el camí que recorre l'aigua residual des de la seva arribada a la instal·lació, passant per distints tractaments, fins el seu abocament final al receptor.
- b) una línia de fang. La fracció sòlida obtinguda en la línia d'aigua, els fangs o llots, ha de ser tractada per tal de reduir-ne el contingut en aigua i condicionar-ne la composició d'acord amb la seva destinació final (els fangs es poden reutilitzar en agricultura, com a material de construcció o com a combustible)
- c) una línia de gas. Està formada pel procés al que es sotmès el biogàs generat en el tractament dels fangs.

Els tractaments que constitueixen la línia d'aigua són:

- I. **Pretractament.** Consisteix en la separació dels sòlids de mida gran (draps, pals, fulles, plàstics, etc.), dels greixos i les sorres que arriben al col·lector d'entrada de l'estació depuradora. Es realitza amb reixes, sedaços, desarenadors i desengreixadors.

- II. **Tractament primari o fisicoquímic.** Consisteix en la separació de sòlids en suspensió i material flotant que no han estat retinguts en la fase anterior. Comporta un procés químic (coagulació i floculació) que facilita la posterior separació dels sòlids mitjançant un procés físic (decantació o flotació). També se'n regula el pH.
- III. **Tractament secundari o biològic.** Consisteix en una sèrie de processos (mitjançant microorganismes) encaminats a eliminar la matèria orgànica dissolta. La reacció es basa en la descomposició aeròbia de la matèria orgànica de forma semblant al que passa de forma natural als rius (autodepuració)
- IV. **Tractaments terciaris.** Tenen com a finalitat eliminar contaminants específics que romanen després del tractament secundari, com són els metalls pesants, el fòsfor, el nitrogen, isòtops radioactius, etc.

La línia de fang comprèn els processos següents:

- I. **Espessiment de fangs.** Mètode que barreja i homogeneïtza els fangs la finalitat del qual és reduir el volum de fangs eliminant la major part de l'aigua.
- II. **Destrucció de la matèria orgànica.** Consisteix en la disminució de la matèria orgànica continguda en els fangs. Es pot fer de forma aeròbia o anaeròbia. Com a resultat del procés anaeròbic es produeixen gasos com el metà i el diòxid de carboni, que formen el biogàs.
- III. **Deshidratació i assecatge.** Mitjançant un assecatge tèrmic es redueix gran part del contingut d'aigua del fang. Amb aquest procés s'inhibeixen reaccions biològiques que podrien produir fermentacions i pudors als fangs.

El gas resultant de la digestió de fangs constitueix la línia de gas, ja que pot ser reutilitzat per aportar part de l'energia que la planta depuradora necessita per al seu funcionament. El gas que no es utilitza se sol cremar a les mateixes instal·lacions.

5. El problema de l'escassetat d'aigua

Tal com hem dit, les aigües continentals (dolces) suposen només el 3% del total de l'aigua del planeta, i d'aquesta, només l'1% (0,01% del total) correspon a aigües corrents. En quantitat absoluta suposen uns 9.000 km³, quantitat no gens petita que, si estigués repartida uniformement, podria abastar les necessitats d'aigua dolça de tota la població mundial. Però la distribució d'aquest recurs al nostre planeta no es ni de bon tros regular.

A n'aquest problema de la distribució de les aigües dolces sobre el planeta, se n'afegeixen d'altres, com per exemple:

- En regions seques, l'aigua no solament és un bé escàs sinó també fràgil ja que es contamina amb facilitat.
- En zones on l'aigua és un recurs escàs, de vegades, es dona un consum abusiu (reg de jardins, camps de golf...) per part de determinades minories.
- L'absència de depuració de les aigües consumides, n'impedeix la reutilització.
- L'augment demogràfic i l'augment del desenvolupament econòmic ha contribuït a un augment de la demanda d'aigua dolça. En els darrers cinquanta anys el consum d'aigua per càpita s'ha multiplicat per quatre en tot el món. Les solucions al problema de la

demanda creixent passen per dos camins diferents: la recerca de nous recursos i la millora en l'eficiència dels recursos actuals.

Recerca de nous recursos.

Normalment impliquen la construcció d'obres d'una gran infraestructura amb costos de construcció i manteniment molt elevats. És per això que abans d'adoptar aquestes solucions s'han de sospesar bé els pros i els contres i utilitzar-los només en casos extrems. Entre aquests tipus de solucions cal destacar:

- Construcció de nous embassaments
- Dessalinització de l'aigua del mar
- Reciclatge de l'aigua usada
- Transvasaments

Millora en l'eficiència dels recursos existents.

Basats en mesures d'estalvi. N'hi ha de caràcter general i altres de més específiques per a cada sector. Algunes d'aquestes mesures poden ser:

Mesures de caràcter general

- Millores en les xarxes i canals de distribució que redueixin les pèrdues d'aigua.
- Reforestació de les capçaleres de les conques per tal d'evitar l'erosió i facilitar la filtració
- Aplicació d'una política de preus que afavoreixi la reducció del consum i que penalitzi el malbaratament.

Mesures d'estalvi en el sector agrícola i industrial

- Canvis en els sistemes de reg
- Replantejament del tipus de conreu: utilització d'espècies adients a cada tipus de clima, resistents a la sequera.
- Reciclatge de l'aigua usada en els circuits de refrigeració i en els processos de producció industrial.

Mesures en el consum humà

- Innovació tecnològica, amb introducció d'elements de lampisteria i d'electrodomèstics de baix consum d'aigua
- Paisatgisme xeròfil. En jardins urbans i particulars, amb la utilització d'espècies autòctones i la reducció en la utilització de la gespa.
- Reutilització de les aigües depurades per a reg, en jardins o en el sector agrícola.
- Educació per a l'estalvi de l'aigua.

La Llei d'aigües de l'estat espanyol, qualifica l'aigua com recurs escàs i unitari:

L'aigua és un recurs natural escàs, indispensable per a la vida i per a l'exercici de la immensa majoria de les activitats econòmiques; és irremplaçable, no ampliable per la simple voluntat de l'home, irregular en la seva forma de presentar-se en el temps i en l'espai, fàcilment vulnerable i susceptible d'usos successius.