

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA



Uso del agua en la Industria manufacturera 2015

Índice

1. Introducción	3
2. Principales resultados	4
2.1 Variables físicas y monetarias	4
2.2 Tipos de acondicionamiento del agua de proceso y de tratamiento de los efluentes industriales	12
3. Indicadores	19
3.1 Dotaciones medias de agua por ocupado y actividad económica	19
3.2 Productividades medias del agua por valor añadido bruto y actividad económica	19
4. Comparación 2010-2015	22
5. Bibliografía consultada	23
6. Anexos	24
Marco tipo de muestreo, incidencias en la recogida de información, recodificación, imputación y elevación de los datos muestrales	24
Apuntes metodológicos sobre algunos conceptos y variables del módulo sobre el uso de agua 2015	29
Agrupaciones por ramas de actividad económica (CNAE-2009)	31
Apartados del módulo sobre el uso del agua en la industria manufacturera	32
Glosario de términos y definiciones sobre el pretratamiento del agua del proceso productivo y tratamiento de los efluentes industriales	34

1. Introducción

En junio de 2009, el Instituto Nacional de Estadística (INE) publicó por vez primera un estudio sobre el uso del agua en el sector industrial con referencia al año 2006, con estimaciones nacionales pero sin ninguna desagregación por comunidad autónoma ni por actividad económica. En febrero de 2014, se repitió este estudio ahora con referencia a los años 2007, 2008 y 2010 y se desagregaron las estimaciones por comunidad autónoma y rama de actividad económica. Ambos estudios se basaron en los resultados de un módulo que sobre el uso del agua, se incluyó en el cuestionario de la por entonces denominada *Estadística sobre Generación de Residuos en el Sector Industrial*.

En los países miembros de la Unión Europea este tipo de estudios sectoriales no tienen una periodicidad fija, aunque se suelen llevar a cabo con una periodicidad más o menos quinquenal. Es por lo que, con referencia temporal de los datos al año 2015, se incluyó de nuevo un módulo sobre el uso del agua en el cuestionario de la *Encuesta sobre el Medio Ambiente en la Industria (EMAI-2015)* encuadrada en las *Estadísticas sobre las Actividades de Protección Medioambiental* (operación estadística nº 6088 del Plan de Estadística Nacional 2013 - 2016) que recogió información sobre los gastos incurridos por los establecimientos industriales en actividades de protección medioambiental en diversos ámbitos (emisiones al aire, aguas residuales, residuos, suelos/ aguas, ruido, naturaleza/paisaje, otros ámbitos).

Como principal novedad con respecto al anterior estudio sobre el agua en la industria, en el módulo que aquí se presenta se han introducido, con carácter piloto, preguntas sobre los tipos de acondicionamiento del agua del proceso industrial y de tratamiento de los efluentes industriales ("*aguas residuales*" en los literales de la preguntas del módulo).

2. Principales resultados

2.1 Variables físicas y monetarias

Se relacionan seguidamente los apartados del módulo en los que figuran variables que se expresan en valores físicos o monetarios y en términos cualitativos. Se excluyen los tipos de tratamiento recogidos en los apartados C.1.6 y C.3.6 y sus correspondientes preguntas filtro (C.1.5 y C.3.5) que se estudiarán en el punto 5.1 de este estudio.

Los datos por comunidad autónoma para las variables de volumen de agua usada proveniente de la red y de captación propia se recogen en las tablas anexas a este documento serie 2007 – 2015 publicadas en la web del INE www.ine.es.

Sin embargo, la desagregación de los valores de dichas dos variables por ramas de actividad económica solo abarca la serie 2008 – 2015, omitiéndose el año 2007 con el fin de obtener una serie homogénea ya que para las estimaciones de año de referencia 2007 es de aplicación la CNAE-93 Rev.1, mientras que para los datos de referencia 2008 y posteriores lo es la CNAE – 2009.

En dicha web, también se publican con referencia al año 2015, las tablas de los distintos tratamientos del agua de proceso y de los efluentes industriales por ramas de actividad económica y agrupación de las mismas.

Apartado C.1.1.1 y C.1.3 (Agua usada en el proceso productivo proveniente de la red pública y de la captación propia)

El volumen total de agua usada proveniente de las redes públicas de abastecimiento de agua ascendió a 312,1 hm³. La práctica totalidad de los establecimientos industriales manufactureros se proveyeron de agua potable de las redes de abastecimiento público.

Con respecto a la captación propia de agua (autoabastecimiento), el volumen de agua usado fue de 603,1 hm³ de los cuales 293,7 hm³ (el 48,7%) fueron *aguas superficiales*, 145,5 hm³ (el 24,1%) *aguas subterráneas* (manantiales, pozos o sondeos) y “*otros tipos de recursos hídricos*”, 163,9 hm³ (el 27,2%).

La mayor parte de los volúmenes de agua incluidos en este último apartado, correspondieron a volúmenes de agua de la mar parcialmente desalada o sin desalar y aguas de tipo salobre de estuarios, lagunas cercanas al mar, todas las cuales se utilizaron casi íntegramente para refrigeración.

También se incluyen en este epígrafe el agua de lluvia, el agua suministrada por cisternas/camiones, agua regenerada procedente de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR's), el agua procedente de las balsas de decantación y el agua contenida en la materia objeto del proceso industrial.

El 11,3% de los establecimientos industriales manufactureros llevaron a cabo captación de agua directamente de la naturaleza. Las ramas de actividad económica en las cuales se dio un mayor porcentaje de establecimientos (con respecto al número total de establecimientos en dichas ramas) que llevaron a cabo captación propia de agua fue la rama 23 (fabricación de otros productos minerales

no metálicos como el vidrio, productos cerámicos, ladrillos, cal, hormigón, cemento, yeso, tallado de la piedra, etc.) con un 34,3%. Le siguió la industria química (rama 20) con un 23,5%, considerando que todas las industrias farmacéuticas (rama 21) se proveen de agua de la red pública.

Tabla 4

Captación propia de agua

(% de establecimientos que captan agua en cada agrupación de ramas de actividad económica)

Divisiones CNAE	% sobre el total
10,11,12	16,2
13,14,15	6,9
16	16,5
17,18	8,1
19	7,9
20,21	23,5
22	7,8
23	34,3
24,25	6,9
26,27	6,2
28	4,8
29,30	9,2
31,32,33	5,4
Total	11,3

Las cuatro ramas de actividad económica que más agua captaron del medio ambiente fueron la química (30,2% del total), la de alimentos y bebidas (22,4%), papel (21,4%) y metalurgia/fabricación de productos metálicos (19,4%).

Apartado C.1.1.2 (Importe abonado por el suministro de agua de la red pública)

En el ejercicio económico 2015, el importe abonado por todos los servicios del agua de red (suministro más saneamiento) ascendió a 267,7 millones de euros. El coste unitario del agua, calculado como el cociente de este importe y el volumen de agua usada que como ya se ha indicado fue de 312,1 hm³, alcanzó los 0,86 € /m³.

En el anterior estudio sobre el uso del agua en el sector industrial manufacturero, para el año 2007 dicho coste fue de 0,80 € /m³ con un importe total recaudado de 314,8 millones de euros y un volumen de agua usada de 393,7 hm³, lo que supuso un incremento del importe recaudado en el periodo 2007- 2015 del 15% y un incremento del coste unitario en ese periodo del 7,5%.

Cabe señalar que este coste medio puede no dar una imagen ajustada de la situación real. En efecto, existe un gran rango de variabilidad de los costes del agua para usos industriales, desde exenciones totales de pago por un periodo dado, hasta tarifas ad - hoc en función del volumen consumido. Esto puede afectar a empresas de reciente instalación o que requieren grandes volúmenes de agua,

aunque para establecimientos industriales de tamaño pequeño o medio, la tarifa de agua aplicada suele ser la de todos los usuarios de agua de la red, existiendo en las grandes aglomeraciones urbanas una tarifa específica del uso del agua para fines industriales.

Apartado C.1.4 (Importe del canon de captación de agua)

Los gastos incurridos en el ejercicio económico 2015 por los establecimientos industriales manufactureros en concepto de canon de captación de agua (tanto superficial como subterránea) ascendieron a 96,1 millones de euros. En el año 2007, estos gastos alcanzaron los 87,1 millones de euros por lo que el incremento porcentual en el periodo 2007 – 2015 fue del 10,3%.

Apartado C.2.1 (Aporte de agua en los circuitos de refrigeración)

El módulo estimó un volumen total de agua aportada a los circuitos de refrigeración para compensar las pérdidas de 145,9 hm³. Este aporte de agua fue necesario para reponer las pérdidas debidas a fugas, evaporación o purgas como a reparaciones de los circuitos y paradas en el proceso de producción.

La contabilización de los volúmenes de agua usados a los fines de la refrigeración presenta dificultades conceptuales para su integración en el balance físico del agua utilizada en el proceso industrial. En efecto, suele ocurrir que en los estudios sectoriales que se llevan a cabo sobre el uso del agua en la industria no se incluya ese consumo de agua como agua utilizada en el proceso productivo, lo que impide establecer una adecuada comparabilidad de estos estudios sectoriales. Dado que la amplitud del módulo no recoge información sobre las características de los circuitos de refrigeración (cerrados, abiertos, semiabiertos, etc.), se ha optado por requerir en el cuestionario el volumen de agua aportado para compensar las pérdidas de los circuitos de refrigeración y no el volumen de agua que se mueve por los circuitos de refrigeración.

En los establecimientos industriales que utilizan como único o principal origen del agua la red de abastecimiento y que suelen disponer de circuitos cerrados de refrigeración en razón del coste de dicha agua, el volumen estimado de aporte de agua de refrigeración fue 34,1 hm³, lo que supuso el 10,9% del total de agua usada proveniente de la red pública de agua.

Por tanto, el resto (111,8 hm³) fue agua de refrigeración proveniente de captaciones de agua del establecimiento directamente del medioambiente (aguas superficiales o subterráneas) que generalmente alimentan circuitos de refrigeración abiertos o semiabiertos. Considerando los ratios muestrales de las captaciones propias de los establecimientos con respecto al agua de refrigeración, se pueden establecer unos rangos para la estimación del origen de dicha agua: 87% agua superficial (97,3 hm³) y 13% de agua subterránea (14,5 hm³), lo que supuso respectivamente el 33,1% de total de agua superficial captada directamente por el establecimiento y el 10% del agua subterránea.

Finalmente el 94,3% de los 163,9 hm³ de agua captada de “*otros tipos de recursos hídricos*” se dedicó a la refrigeración, lo que supuso 154,5 hm³. En estos casos, las

respuesta del módulo no han reflejado valor alguno para el aporte de agua a los circuitos de refrigeración quizás en razón de que, en el caso de este tipo de aguas (marinas, estuarios, etc.), los aportes de agua de refrigeración no son significativos en relación con el volumen de agua de refrigeración que se mueve por los circuitos abiertos.

Apartado C.3.1 (Volumen total de efluentes industriales)

Los efluentes de los procesos industriales tienen su origen en el uso del agua del proceso industrial, purgas en los circuitos de refrigeración, recirculación de aguas de proceso y condensación de vapor.

Tabla 5

Volúmenes de agua vertida

(miles de m³)

Divisiones CNAE	Total
10,11,12	148.566
13,14,15	10.252
16	1.308
17,18	105.352
19	32.125
20,21,22	141.617
23	10.112
24,25	90.842
26,27	2.148
28	2.213
29,30	10.261
31,32,33	2.728
Total	557.524

En la tabla nº 6, se presenta la información sobre el consumo de agua de las ramas de actividad económica en términos porcentuales del volumen de agua usada. Debe indicarse que el sintagma "*uso de agua*" en la industria, hace referencia al volumen de agua utilizada que puede provenir de las redes de suministro o captación propia, es decir que tiene entrada en el establecimiento industrial para proveer a las necesidades del proceso productivo, mientras que la expresión "*consumo de agua*" se refiere al volumen de agua que después de su uso no retorna al medio ambiente. Por tanto en lo que respecta al ciclo integral del agua, los vocablos "*uso*" y "*consumo*" no son sinónimos como lo son en otros ámbitos científicos o económicos. El balance del consumo de agua en el sector industrial manufacturero para el total nacional es el siguiente:

Uso/entrada de agua: 915.124 miles de m³.

Vertidos/salidas de agua: 557.524 miles de m³.

Consumo de agua: 357.600 miles de m³, lo que representa el 39,1% del input de agua.

Tabla 6

Consumo de agua por actividad económica en porcentaje del volumen de agua usado

Divisiones CNAE	%sobre el total
10,11,12	36,7
13,14,15	24,4
16	55,0
17,18	28,9
19	49,5
20,21, 22	45,1
22	43,0
23	40,4
24,25	26,7
26,27	31,8
28	27,2
29,30	32,6
31,32,33	39,1
Total	36,7

Apartado C.3.2 (Destino de efluentes industriales vertidos)

Con respecto al año 2007, se aprecia un significativo incremento de los efluentes vertidos a la red de alcantarillado (del 35,4% al 44,6%), disminuyendo apreciablemente las aguas residuales vertidas directamente a un cauce fluvial (del 25,5% al 22,4%) y al mar (del 35,3% al 29,6%). Los otros destinos (balsas de decantación, terreno y suelo) permanecen estables (del 3,8% al 3,4%). Es preciso señalar la gran importancia de las balsas de decantación como destino de los efluentes semilíquidos, con el fin de que la decantación de los sólidos permita su vertido como una solución acuosa.

Tabla 7

Destino de las aguas residuales vertidas

Divisiones CNAE	Alcantarillado	Cauce fluvial	Mar	Balsas	Terreno
10,11,12	80,3	15,4	0,9	1,3	2,1
13,14,15	71,8	15,8	0,0	12,3	0,1
16	53,3	28,8	10,6	7,1	0,2
17,18	13,9	38,6	44,6	2,9	0,0
19	0,4	29,5	70,1	0,0	0,0
20,21	12,1	15,6	69,0	2,5	0,8
22	55,7	42,5	0,0	0,5	1,3
23	51,1	25,0	2,3	19,9	1,7
24,25	30,9	40,3	27,2	1,2	0,4
26,27	78,5	20,6	0,0	0,1	0,8
28	81,3	13,9	0,1	4,3	0,4
29,30	65,8	30,5	3,2	0,1	0,4
31,32,33	88,2	7,5	0,3	2,5	1,5
Total	44,6	22,4	29,6	2,3	1,1

Apartado C.3.3 (Segregación de las aguas pluviales y de los efluentes industriales)

Las precipitaciones en instalaciones industriales pueden provocar el arrastre de sustancias contaminantes y sólidos inertes, lo que puede condicionar e incluso impedir su vertido a la red de alcantarillado o a un medio natural por no cumplir con la normativa de vertidos. Por otra parte, aunque la escorrentía de dichas precipitaciones no arrastre dichas sustancias, en el caso de establecimientos industriales que auto depuran las aguas residuales de proceso, pueden incrementar significativamente el volumen de agua a depurar, y por tanto el coste de dicha depuración. Por ello, en algunas industrias se establecen dos redes de evacuación de aguas: una para las aguas pluviales y otra para los efluentes industriales generados en el proceso productivo.

Tabla 8

Segregación de aguas pluviales

(% de establecimientos que tienen segregación de aguas pluviales sobre el total)

<u>Divisiones CNAE</u>	<u>%sobre el total</u>
10,11,12	30,6
13,14,15	14,4
16	26,6
17,18	25,1
19	61,2
20,21	48,2
22	22,5
23	32,4
24,25	22,1
26,27	20,1
28	21,3
29,30	32,6
31,32,33	13,6
<u>Total</u>	<u>24,5</u>

Apartado C.3.5 (Volumen de efluentes industriales depurados por el propio establecimiento industrial)

La autodepuración de los efluentes industriales por parte del establecimiento industrial – previa a su vertido a la red de alcantarillado o a un medio natural (río, mar, etc.) - se lleva a cabo para reducir la carga contaminante con el fin de adecuarlas a los parámetros y especificaciones de la normativa vigente en materia de vertidos. Por otra parte, la autodepuración hace disminuir el coste de los cánones de saneamiento y de vertido que en su caso tendría que abonar dicho establecimiento acorde con el volumen vertido y su carga contaminante. Por ello, puede afirmarse que este proceso de autodepuración de efluentes industriales tiene una doble componente: la medioambiental y la económica.

Este volumen alcanzó los 285.297 miles de m³, lo que supuso el 51,2% el agua vertida, más de siete puntos porcentuales que en el año 2007 (44%).

Tabla 9
**Volúmenes de efluentes industriales
 depurados por el propio establecimiento**
 (miles de m³)

Divisiones CNAE	Total
10,11,12	85.452
13,14,15	7.848
16	583
17,18	95.251
19	3.323
20,21,22	53.332
23	5.842
24,25	24.891
26,27	1.318
28	773
29,30	6.077
31,32,33	607
Total	285.297

Apartado C.3.7 (Volumen de lodos o fangos generados en la depuración de los efluentes industriales)

La gran variabilidad de las características de los lodos o fangos generados en la depuración de los efluentes industriales por el propio establecimiento y la ausencia una contabilidad estandarizada de los mismos, han impedido una explotación fiable de los datos muestrales referidos a esta variable.

Apartado C.4.1 (Volumen de agua reutilizada)

El volumen de agua reutilizada fue de 38.946 miles de m³, lo que representó el 13,7% del volumen de agua tratada por el propio establecimiento industrial. Se considera que esta estimación es más fiable que la que se hizo en el estudio anterior para el año 2007 (apartado 6.1.2.2 del documento de ese estudio) en razón de que las preguntas sobre los diferentes usos del agua reutilizada ha acotado el ámbito de la misma.

Tabla 10
**Volúmenes de aguas residuales reutilizadas
 por el propio establecimiento** (miles de m³)

Divisiones CNAE	Total
10,11,12	4.847
13,14,15	957
16	196
17,18	7.241
19	2.836
20,21,22	4.120
23	1.850
24,25	13.220
26,27	84
28	403
29,30	2.585
31,32,33	607
Total	38.946

Apartado C.4.2 (Uso del agua reutilizada)

Se observa que el uso más significativo del agua reutilizada (el 75,7%) es el de agua de proceso, y ello con la doble finalidad de minimizar los vertidos y de reducir los costes del suministro de agua.

Tabla 11
Usos de los efluentes industriales depurados y reutilizados
 (en % del total de volumen de agua usado)

Divisiones CNAE	Agua de proceso	Limpieza	Riego	Usos medioambientales	Otros usos
10,11,12	43,1	12,9	28,3	0,2	15,5
13,14,15	88,5	2,8	8,7	0,0	0,0
16	99,1	0,9	0,0	0,0	0,0
17,18	67,8	12,8	0,6	0,0	18,8
19	54,5	5,0	0,8	0,1	39,6
20,21	58,4	4,2	3,3	0,0	34,1
22	67,6	29,6	0,1	2,6	0,1
23	93,4	0,6	1,7	0,8	3,5
24,25	91,8	3,5	2,1	0,0	2,6
26,27	96,2	2,4	0,9	0,0	0,5
28	92,4	0,1	7,1	0,0	0,4
29,30	62,8	0,0	0,0	0,0	37,2
31,32,33	75,8	12,2	3,5	0,9	7,6
Total	75,7	12,2	3,5	1,0	7,6

2.2 Tipos de acondicionamiento del agua de proceso y de tratamiento de los efluentes industriales

(Los resultados de estas variables desglosadas por rama de actividad económica se presentan en la web del INE anexas a este documento)

Con carácter previo, puede ser oportuno hacer un somero repaso de la casuística que puede dar en cuanto a las características físico - químicas que pueden presentarse en el estado de las aguas. En España, la situación predominante es el de las aguas calcáreas (*"aguas duras"*) con mucha presencia de sales (carbonatos y bicarbonatos) de calcio y magnesio. Por contraposición, las *"aguas blandas"* son aquellas en las cuales la presencia de este tipo de sales no es relevante. La *"dureza"* de un agua también se determina de acuerdo con la cantidad de minerales (zinc, manganeso, hierro, sílice, etc.) disueltos en la misma siendo más dura cuanto más alta sea la concentración de minerales disueltos.

Otra caracterización química de las aguas atañe a su PH. Así, un agua de PH >7 identifica a un agua básica o alcalina, y un PH < 7 a un agua ácida. Las aguas más duras suelen ser más alcalinas (menos ácidas) que las blandas. Las aguas ácidas tienen una alta concentración de cloruros y sulfatos, así como en menor medida rastros de ácidos sulfúricos, carbónicos y nítricos. Finalmente, el agua puede contener gases disueltos especialmente oxígeno o metano que pueden provocar daños en las calderas o mal olor por lo que se debe proceder a su desgasificación.

En lo que respecta a la carga contaminante que contienen los efluentes industriales y residuos semisólidos, la misma se mide por la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y las sustancias inorgánicas. Así el indicador *"Demanda Química de Oxígeno"* (DQO) es la cantidad de oxígeno (expresada en mg O₂ / litro) necesaria para oxidar por medios químicos la materia orgánica y algunas sustancias inorgánicas (sulfuros, cloruros, etc.) susceptibles de ser oxidadas, para convertirlas en dióxido de carbono (CO₂), agua y materia inorgánica oxidable.

La *"Demanda Biológica – o Bioquímica - de Oxígeno"* (DBO) que se expresa en la misma unidad, es la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación de la materia orgánica del agua y los compuestos que contengan elementos nutrientes (fosforo y nitrógeno) aplicando procesos biológicos mediante la acción de enzimas, bacterias o microorganismos. Este tipo de procesos para la depuración de aguas contaminadas mediante microorganismos se denominan *"procesos aerobios"* en razón de que se llevan a cabo en presencia de oxígeno.

Por su parte, los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica con la presencia de microorganismos y en ausencia de oxígeno, se denominan *"procesos anaerobios"* y producen el denominado biogás compuesto de dióxido de carbono y de metano (CH₄). Este tipo de procesos biológicos son apropiados para la depuración de las aguas residuales que tienen concentraciones de materia orgánica muy elevadas.

Estos procesos biológicos de depuración tienen lugar en reactores abiertos o cerrados en donde los fangos o lodos contaminantes (*"activos"*) se degradan por la acción de la población bacteriana. Generalmente, la separación del agua

clarificada con respecto al fango generado se lleva a cabo por decantación o flotación. A veces, la separación agua/ fango se lleva a cabo con una membrana de micro o ultra filtración.

Pretratamiento- acondicionamiento del agua de proceso (apartados C.1.5 y C.1.6)

El pretratamiento del agua del proceso industrial viene impuesto en los casos en el que la calidad y pureza del agua disponible no alcanza las exigencias requeridas por el proceso productivo.

Los tratamientos primarios tienen como objetivo principal eliminar del agua los sólidos en suspensión, partículas coloidales y sustancias disueltas que pueden causar problemas internos en los equipos de las líneas de producción industrial por sedimentación de fangos y lodos. Uno de los métodos más utilizados son los de coagulación/ floculación que consisten en añadir al agua sustancias floculantes que favorecen la decantación de las citadas materias en suspensión o disolución que se eliminan con un filtrado posterior.

Los acondicionamientos secundarios del agua se aplican cuando el agua es alcalina, tiene muchos minerales disueltos ("agua dura"), es corrosiva (PH ácido), contiene gases y contaminantes específicos o es preciso aumentar su pureza o mejorar su sabor. Para las aguas duras se utilizan técnicas de descalcificación (ablandamiento) o descarbonatación con adición de cal, osmosis inversa o intercambio iónico con resinas.

En el caso de las aguas duras que contienen muchos minerales disueltos, es preciso proceder a su eliminación ya que pueden ser nocivos en tanto en cuanto dejan residuos cuando se oxidan las aguas. Para ello se aplican procesos de desmineralización con oxidación con aire comprimido, electrodiálisis, filtración por membranas o coagulación en el caso de compuestos de hierro y manganeso. En procesos que requieren una extrema pureza del agua como en la industria farmacéutica, pueden llegar a aplicarse métodos de destilación para eliminar cualquier impureza que contenga el agua.

Muchos de estos procesos de pretratamiento del agua de proceso vienen impuestos por la necesidad de evitar la corrosión de las calderas de producción de vapor, proceso que es favorecido por la presencia de oxígeno en el agua, un PH bajo (aguas ácidas), presencia de sílice y altas temperaturas. Por ello, el agua de alimentación de una caldera debe de estar totalmente ablandada y libre de oxígeno y minerales. Para proceder a la desgasificación del agua se suelen aplicar procedimientos de filtración de líquidos, especialmente osmosis inversa.

Los otros tratamientos se aplican cuando se desea obtener agua que cumpla con los estándares sanitarios para consumo humano (cloración, ozonización, desinfección) o eliminación del hierro para prevenir una mal color del producto en el caso de las bebidas para consumo humano.

Se observa que las actividades económicas que con más intensidad tienen instalados procesos de pretratamiento de agua son la industria de la alimentación, bebidas y tabaco (10, 11,12), refino del petróleo (19) e industria química y farmacéutica (20 y 21).

Tabla 12

Pretratamiento del agua de proceso

(en % de respuestas afirmativas sobre el total)

Divisiones CNAE	Respuesta "sí" Apartado C.1.5
10,11,12	29,8
13,14,15	7,5
16	2,3
17,18	18,6
19	43,4
20,21	46,2
22	15,1
23	20,0
24,25	7,1
26,27	5,4
28	4,1
29,30	14,5
31,32,33	4,0
Total	15,2

En lo que respecta a los tipos de pretratamiento aplicado se observa una gran incidencia de los secundarios en todas las actividades económicas. En cuanto a los "otros tratamientos", su utilización más intensiva se da en la divisiones 10, 11,12 (alimentación, bebidas y tabaco) acorde con las regulaciones sanitarias en materia de productos para el consumo humano.

Tabla 13

Tipos de pretratamientos del agua de proceso

(en % de respuestas afirmativas sobre el total)

Divisiones CNAE	Primarios	Secundarios	Otros
10,11,12	37,6	63,0	64,2
13,14,15	37,7	92,0	33,0
16	52,5	76,9	35,4
17,18	43,9	67,1	25,8
19	75,8	51,5	54,5
20,21	28,4	90,3	36,0
22	34,4	84,2	32,0
23	76,1	40,6	20,8
24,25	36,6	72,4	29,4
26,27	25,5	85,7	25,3
28	29,9	85,7	27,7
29,30	38,5	65,9	23,6
31,32,33	47,1	66,2	31,9
Total	75,7	12,2	3,5

Tratamiento del agua de refrigeración (apartado C.2.2)

En este caso, el agua de refrigeración que interacciona como transportador de calor fluye por circuitos distintos a los del agua de proceso. Las limitaciones que en el número de variables investigadas impone un módulo imbricado en una encuesta, no han posibilitado hacer un estudio de los métodos de tratamiento del agua refrigeración limitándose a una pregunta categórica sobre la implantación o ausencia de dicho tipo de tratamiento.

La necesidad de tratar el agua de refrigeración viene impuesta por varios motivos. En primer lugar, es necesario evitar en los circuitos de agua de refrigeración la corrosión, las incrustaciones así como las precipitaciones de sales que pueden producir obstrucciones de las tuberías y formación de capas aislantes que disminuyen la conductividad térmica de los materiales empleados en dichos circuitos. Para ello se suelen utilizar procedimientos químicos específicos. En el caso de las aguas calcáreas ("*aguas duras*") que favorecen la aparición de incrustaciones, el tipo de tratamiento más utilizado es la decalcificación (ablandamiento) mediante la adición de cal (óxido de calcio o hidróxido de calcio) que provoca la precipitación del calcio y del magnesio.

En el caso de las aguas ácidas, su capacidad de corrosión aumenta al aumentar la temperatura. Por ello, se les aplica tratamientos para aumentar su PH, es decir su alcalinidad. Los procedimientos más utilizados son la adición de carbonato sódico o de sosa caustica.

Una segunda cuestión que hace necesario el tratamiento del agua de refrigeración en gran medida en los circuitos abiertos en contacto con el aire (por ejemplo, torres de refrigeración) es la relacionada con la preservación de los estándares sanitarios. Es por lo que en estos casos, se procede a la desinfección del agua de refrigeración mediante procedimientos químicos que impidan la presencia de microorganismos que puedan ser nocivos para la salud humana.

En la tabla siguiente, algún tratamiento del agua de refrigeración es aplicado por el 50,1% de los establecimientos industriales, con especial incidencia en la división 19 de (coquerías y refino del petróleo) y en las 20 y 21 (industria química y farmacéutica).

Tabla 14

Tratamiento del agua de refrigeración

(en % de respuestas afirmativas sobre el total)

Divisiones CNAE	Respuesta "sí" Apartado C.2.2
10,11,12	50,2
13,14,15	29,6
16	36,6
17,18	39,8
19	90,3
20,21	64,6
22	52,0
23	41,1
24,25	51,8
26,27	39,5
28	37,4
29,30	58,2
31,32,33	36,8
Total	14,4

Tratamientos de los efluentes industriales (apartados C.3.4 y C.3.6)

El 14,4% de los establecimientos industriales lleva a cabo algún proceso de autodepuración de sus efluentes industriales, con especial incidencia en las industrias de alimentación, bebidas y calzado (10, 11, 12) y en la de refino del petróleo.

Tabla 15

Tratamiento de los efluentes industriales por el propio establecimiento

(en % de respuestas afirmativas sobre el total)

Divisiones CNAE	Respuesta "sí" Apartado C.3.4
10,11,12	42,6
13,14,15	5,6
16	4,0
17,18	17,4
19	53,3
20,21	37,3
22	3,8
23	29,9
24,25	11,0
26,27	7,1
28	3,9
29,30	15,6
31,32,33	4,8
Total	14,4

En lo que respecta los tipos de tratamiento de los efluentes industriales (aguas residuales provenientes del proceso productivo) deben adaptarse no solo a cada actividad económica sino a cada tipo de producto. Por otra parte, los requerimientos

físicos - químicos que tienen que cumplir dichos efluentes difieren en gran medida de lugar de vertido: red de saneamiento (alcantarillado) o a un cauce fluvial.

Tratamientos para la eliminación de la materia en suspensión

Se observa que un gran porcentaje de establecimientos utilizan este tipo de tratamiento para la eliminación de residuos sólidos y partículas y ello acorde con la normativa general de vertidos que impide que haya materia en suspensión de cierto tamaño en los efluentes industriales. El procedimiento más utilizado, aparte de la utilización de tamices y rejillas para eliminar los sólidos de gran tamaño, es el del filtrado. En el caso del refinado del petróleo (19) y otras industrias en donde existen aceites o grasas en suspensión se aplican técnicas de centrifugación para la separación del agua de dichas materias.

Tratamientos para la eliminación de la materia disuelta

Los tipos de tratamiento más utilizados son la precipitación química por adición de coagulantes, la adsorción con carbón activo y la desinfección.

Una de las industrias que más utilizan este tipo de procesos es la de fabricación de productos metálicos (25) en los que sus efluentes contienen metales y sustancias tóxicas como cianuro o metales pesados en gran medida como consecuencia de la limpieza de metales. Los métodos de depuración aplicados son la precipitación química y sistemas de intercambio iónico.

Por sus especiales características eliminación de la materia disuelta de tratamiento es la actividad del cuero y del calzado (15) debido a la presencia en los efluentes de gran número de materias solubles como colorantes, tinturas y otros productos auxiliares. Estos productos pueden tener ciertas dosis de toxicidad por lo que es necesario aplicarles procesos de desinfección previamente a su vertido.

Las industrias de la alimentación y bebidas (10 y 11) deben proceder a eliminar los aceites, grasas y materia orgánica disueltos en sus efluentes con anterioridad a la aplicación de tratamientos biológicos. Se suelen utilizar procesos de precipitación (coagulación – floculación) y posterior flotación/decantación. En algunos casos se aplican procesos de desinfección para evitar procesos de descomposición de la materia orgánica que podrían ser perjudiciales para la salud.

En lo que respecta a la rama química (20) debido a la gran variedad de procesos que tienen lugar y a similares propósitos que para las industrias citadas en el apartado anterior, se utilizan técnicas de precipitación. La industria farmacéutica (21) también aplica métodos de separación mecánica de la materia disuelta (precipitación, floculación) así como técnicas de adsorción química

En el caso de la industria de producción de papel y pasta (17), los efluentes generados contienen tanto materiales procedentes de la madera como productos sintéticos (fenoles y dioxinas) utilizados en los procesos de fabricación y blanqueo de las pastas de celulosa. Como una primera etapa en su proceso de depuración se suelen aplicar procesos químicos de precipitación con posterior decantación.

Tratamientos biológicos

Estos tratamientos que tienen por objetivo la degradación de la materia orgánica contenida en los lodos o fangos y la eliminación del nitrógeno y del fósforo mediante microorganismos y se aplican en las industrias alta presencia de materia orgánica en sus efluentes como el refino del petróleo (19), alimentación y bebidas (10,11), textil (13) y curtidos (15), industria del papel (17), refino del petróleo (19), industria química (20) y fabricación de productos farmacéuticos (21).

Oxidación

Este tipo de tratamientos tienen por finalidad reducir la materia orgánica mediante procesos químicos y foto catalíticos, cuando las sustancias contaminantes o tóxicas contenidas en los efluentes industriales presentan una muy baja biodegradabilidad. Se aplican especialmente en la industria textil (13), curtidos (15), química (20), farmacéutica (21), fabricación de caucho (22) y en la metalúrgica y fabricación de productos metálicos (24 - 25), en estas últimas industrias para la eliminación del cianuro u metales pesados.

Membranas

En estos procesos los sólidos se separan de los líquidos según su tamaño. Su utilización se ha incrementado en gran medida en los últimos años especialmente en lo concerniente a las técnicas de ósmosis inversa.

En la tabla 16 se presenta la información que nos ilustra acerca del grado de intensidad en la aplicación de los diferentes tratamientos de aguas residuales, los cuales se aplican en "forma escalonada" desde los tipos más bastos (y por tanto de coste más reducido) a los más complejos y de mayor coste.

Tabla 16

Tipos de tratamiento de los efluentes industriales

(en % de respuestas afirmativas sobre el total)

Divisiones CNAE	T. Suspensión	T. Disuelta	T. Biológicos	T. Oxidación	T. Membranas
10,11,12	88,0	35,0	64,9	8,5	12,5
13,14,15	79,5	41,0	46,6	32,9	18,8
16	81,2	28,4	18,7	0,0	15,4
17,18	88,6	35,4	27,5	4,2	24,0
19	100,0	14,6	69,1	0,0	34,2
20,21	79,5	34,2	42,8	10,8	14,6
22	76,8	15,8	15,2	22,0	19,8
23	91,2	18,9	14,1	4,5	11,7
24,25	76,2	49,1	21,3	10,8	12,5
26,27	88,8	20,8	6,6	5,7	3,5
28	79,1	22,7	13,5	3,1	3,4
29,30	79,7	43,5	18,0	8,4	15,4
31,32,33	88,6	30,0	30,3	4,5	4,9

3. Indicadores

3.1 Dotaciones medias de agua por ocupado y actividad económica

Las dotaciones medias de uso de agua por trabajador ocupado deben considerarse como estimaciones genéricas del uso de agua, debiendo ser completadas por estudios específicos en el caso de actividades económicas y establecimientos industriales dados. La fuente de las cifras del número de ocupados es la *Estadística Estructural de Empresas: sector Industrial* que el INE lleva a cabo con periodicidad anual.

Tabla 17

Dotaciones medias de uso de agua (2015)

(volúmenes en hm³: número de ocupados en miles)

Divisiones CNAE	Total agua suministrada por la red	Total agua usada (sin incluir "otros tipos de recursos hídricos")	Número de ocupados	Metros cúbicos por ocupado (solo red)	Metros cúbicos por ocupado (sin incluir "otros tipos de recursos hídricos")
10,11,12	99.186	233.059	365.126	272	638
13,14,15	6.549	13.512	123.369	53	109
16	1.475	2.904	47.595	31	61
17,18	19.153	146.763	101.571	189	1.887
19	50.844	63.010	8.453	6.014	7.454
20,21	70.047	137.882	122.541	571	1.125
22	3.885	13.302	90.282	43	147
23	6.625	15.330	85.266	78	180
24,25	34.934	101.544	280.875	124	361
26,27	8.285	13.200	87.399	95	151
28	2.409	1.100	98.940	24	11
29,30	5.258	5.886	187.719	28	31
31,32,33	88,6	3.752	169.815	20	22

3.2 Productividades medias del agua por valor añadido bruto y actividad económica

Con el fin de completar el análisis de los datos de este estudio desde el punto de vista económico, es preciso establecer unas estimaciones de la productividad media del *recurso agua*. En este tipo de estudios económicos, la magnitud contable que se suele utilizar es el Valor Añadido Bruto (VAB) que es el valor económico generado por la unidad productiva y que se obtiene como saldo de la cuenta de producción, es decir mediante la diferencia entre el valor de la producción de bienes y servicios y el de los consumos intermedios empleados en dicha producción. El indicador calculado (VAB/volumen de agua usado) que viene expresado en euros por metro cúbico (€/m³), nos ilustra acerca de la productividad media del *recurso agua* en algunas ramas de actividad económica de la industria manufacturera (tabla 18) y para el total de la misma (tabla 19).

Ahora bien, no debe confundirse este indicador con la productividad marginal del recurso agua, que sería el aumento de producción que se conseguiría utilizando, *ceteris paribus*, un metro cúbico de agua adicional en el proceso de una industria manufacturera dada. En síntesis, este valor promedio que se ha calculado para la productividad del agua tiene por único objetivo dimensionar la importancia relativa del agua en los procesos de producción de la industria manufacturera.

Los datos del VAB provienen de la Contabilidad Nacional de España (*Revisión Estadística 2019*), habiéndose tomado como referencia (año base) para el cálculo del indicador el año 2015.

Para el año 2015, si consideramos el volumen total de agua usado, dicha productividad fue de 133 $\text{€} / \text{m}^3$, es decir que, en media, cada metro cúbico de agua está asociado a la generación de 133 € de valor adicional de producto generado en el proceso industrial manufacturero. Si consideramos el agua usada sin incluir los "otros tipos de recursos hídricos", (es decir, incluyendo solamente agua suministrada por la red y captaciones propias de agua subterránea y superficial), la productividad media del agua fue de 162 $\text{€} / \text{m}^3$.

Dicho de otro modo, considerando para el año 2015 las tecnologías de producción, la estructura de costes y la de los bienes producidos por la industria manufacturera, la generación de 162 € de valor en dicha industria requeriría la utilización de un metro cúbico de agua de los mencionados orígenes.

Tabla 18

Productividades medias del agua por VAB y ramas de actividad económica (2015)
(VAB en millones de € ; volúmenes en hm^3 ; productividades medias en $\text{€} / \text{m}^3$)

CNAE 1993*	CNAE 2009	Ramas de actividad económica**	VAB	Volumen de agua (sin "otros tipos de recursos hídricos")	Productividad media
DA	10,11,12	Alimentación, bebidas y tabaco	24.496	233	105
DB + DC	13,14,15	Textil, cuero y calzado	8.667	14	619
DD	16	Madera y corcho	1.602	3	534
DE	17,18	Papel	5.619	147	38
DF	19	Coquerías y refino de petróleo	2.917	63	46
DG	20,21	Química e industria farmacéutica	14.894	137	109
DH	22	Caucho y materias plásticas	5.823	13	447
DI	23	Minerales no metálicos	4.970	15	331
DJ	24,25	Metalurgia	15.965	102	156

* La correspondencia entre ambas clasificaciones de actividades económicas es aproximada, y figuran en la tabla a los efectos de posibilitar la comparación con el año 2007 (tabla nº 52 del estudio 2007- 2010).

** No se presentan las ramas de actividad económica de la 26 a la 33 ya que no siendo relevante en las mismas el uso de agua para los fines del proceso industrial, el cálculo de su productividad por VAB podría inducir a malinterpretaciones.

Tabla 19

Productividades medias del agua por VAB en el total de la industria manufacturera (2015)

(Volúmenes en hm³; productividades medias en τ /m³)

Volumen total de agua usada (hm ³)	915
Productividad media del agua (τ /m³)	133
Volumen total de agua usada (sin "otros tipos de recursos hídricos") (hm ³)	751
Productividad media del agua (sin "otros tipos de recursos hídricos" (τ /m³))	162

4. Comparación 2010-2015

En la tabla nº 20 se presentan para los años 2010 y 2015, las productividades medias de agua por VAB para el sector industrial manufacturero en su conjunto, observándose un incremento de las productividades medias.

Si consideramos el volumen total de agua usada, en dichos años, la productividad media del agua se incrementó un 15,7% (de 115 a 133 m^3/m^3).

Por otro lado, si consideramos solamente los volúmenes de agua provenientes de la red y de las captaciones propias de agua superficial o subterránea (o lo que es lo mismo, el precitado volumen total de agua usada menos los "otros tipos de recursos hídricos"), su aumento fue del 10,2% (de 147 a 162 m^3/m^3), lo que parece indicar en ambos casos una mayor eficiencia en el uso del agua.

Tabla 20

Productividades medias del agua por VAB en el total de la industria manufacturera (2010-2015)

(Productividades en m^3/m^3)

	2010	2015
Productividad media del agua (m^3/m^3)	115	133
Productividad media del agua (sin "otros tipos de recursos hídricos") (m^3/m^3)	147	162

En la tabla nº 21 se presentan para los años 2010 y 2015 y para el sector industrial manufacturero en su conjunto, los volúmenes de agua usados de la red, volúmenes de captaciones propias de aguas superficiales y subterráneas y el total de volumen de agua usado - todos los orígenes de la misma incluidos - y el número de ocupados. Se observa la correlación que existe entre el uso del agua proveniente de la red y el número de ocupados.

Cabe señalar la fuerte disminución de los volúmenes de agua de agua superficial y subterránea captados de la naturaleza por el propio establecimiento industrial. Ello puede obedecer a los crecientes requerimientos normativos medioambientales que regulan ese tipo de captaciones, por lo que la tendencia es a sustituirlos por el suministro de agua por las redes de abastecimiento.

Tabla 21

Volúmenes de agua usados y número de ocupados (2010-2015)

(Volúmenes en hm^3 ; productividades medias en m^3/m^3)

	2010	2015	Variación 2010-2015
Suministro de agua por la red	334	312	-6,6%
Captación propia (agua superficial y subterránea)	514	439	-14,6%
Total agua usada (incluidos "otros tipos de recursos hídricos")	1.081	915	-15,4%
Número de ocupados	1.952	1.769	-9,4%

5. Bibliografía consultada

- **Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.**

Antonio Rodríguez Fernández Alba; Pedro Letón García; Roberto Rosal García; Miriam Dorado Valiño; Susana Villar Fernández; Juana M. Sanz García. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Universidad de Alcalá, Universidad Rey Juan Carlos, CIEMAT (Madrid 2006)

- **Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos.**

Nelson L. Nemerow y Avijit Dasgupta. Editorial Díaz de Santos. Madrid 1998

- **Gestión de efluentes en la Industria textil.**

Cuaderno Tecnológico nº 18. Victor López Grimau y Martín Crespi Rosell. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. Septiembre 2015.

6. Anexos

Marco, tipo de muestreo, incidencias en la recogida de información, recodificación, imputación y elevación de los datos muestrales

1 Marco, tipo de muestreo e incidencias en la recogida de información

1.1 MARCO Y MUESTREO

Dado que el módulo sobre el uso del agua en el sector industrial manufacturero está imbricado en el cuestionario de la *Encuesta sobre el Medio Ambiente en la Industria* que engloba las industrias extractivas, manufactureras y energéticas, el marco y el tipo de muestreo para el citado módulo son los utilizados en la citada encuesta. Se recoge un cuestionario por cada establecimiento industrial y los estratos de diseño del tamaño del establecimiento (TAME) que se relacionan en la tabla nº 1, son los de aplicación en la *Encuesta Industrial Anual de Productos 2015 (EIAP-2015)*. Por el término de "ocupado", debe entenderse "trabajador remunerado o no remunerado", aun cuando debe señalarse que en el sector industrial manufacturero el 98% de los trabajadores ocupados son asalariados, es decir que perciben algún tipo de remuneración periódica.

En consideración al tamaño de algunos grupos empresariales, por parte de la Unidad del INE responsable de la precitada encuesta se estableció una recogida directa al margen de la recogida general de datos. Estos establecimientos deben considerarse a la hora de calcular la muestra efectiva en cada estrato y por tanto los factores de elevación que se aplican a los datos muestrales (ver apartado 3.3). Es preciso señalar que a partir del TAME 18 el estudio es exhaustivo.

Tabla 1
**Tamaño del establecimiento
por número de ocupados)**

TAME*	Intervalo de ocupados
14	10-19
15	20-49
16	50-99
17	100-199
18	200-499
19	500-999
20	1000-4999
21	>5000

Tabla 2

Número de establecimientos por TAME

TAME*	Intervalo de ocupados	nº de establecimientos en la muestra de la EMAI-2015	nº de establecimientos en EIAP-2015
14	10-19	1.825	13.231
15	20-49	2.224	10.260
16	50-99	1.338	3.015
17	100-199	1.186	1.495
18	200-499	779	779
19	500-999	143	143
20	1000-4999	60	60
21	>5000	5	5
Total		7.560	28.988

Tabla 3

Número de ocupados por TAME

TAME*	Intervalo de ocupados	nº de establecimientos en la muestra de la EMAI-2015	nº de establecimientos en EIAP-2015
14	10-19	23.659	179.808
15	20-49	64.982	309.192
16	50-99	92.631	209.357
17	100-199	164.169	206.757
18	200-499	227.025	227.025
19	500-999	96.636	96.636
20	1000-4999	73.800	73.800
21	>5000	48.774	48.774
Total		791.676	1.351.349

1.2 TASAS DE RESPUESTA TOTAL Y PROPORCIONES DE RESPUESTA PARCIAL

La falta de respuesta total viene determinada por la diferencia entre la muestra teórica de la encuesta y la muestra efectiva, es decir, por las unidades de las que no se dispone de cuestionario cumplimentado. La tasa de respuesta total de una encuesta está expresada como el cociente entre la muestra efectiva y la muestra teórica. Así, de los 7.560 establecimientos de la muestra teórica de la EMAI-2015 (que incluye las industrias extractivas, manufactureras y sector de la energía) se han recogido, debidamente cumplimentadas las variables relativas al gasto en protección medioambiental, 6.264 cuestionarios de lo que resulta una tasa de respuesta total del 82,9%.

Considerando solamente el sector industrial manufacturero (7.003 establecimientos), se han dado por válidos 5.764 cuestionarios, en función de que en ellos las variables

del módulo sobre el uso del agua tuviesen un mínimo de respuestas que hiciesen fiable su explotación estadística. De ello resulta una tasa de respuesta total para el módulo del uso del agua de un 82,3%. Estos cuestionarios se distribuyen según las divisiones de la CNAE-2009 como se explicita en la tabla nº4, en la que se establece la comparación con el número de establecimientos del sector industrial manufacturero en la EMAI-2015 que asciende a 28.121.

Tabla 4

División de actividad económica. CNAE-2009	nº de establecimientos en la EIAP-2015	nº de establecimientos del módulo "uso del agua" dados por válidos
10	5.130	841
11	753	203
12	10	8
13	769	127
14	892	139
15	1.073	176
16	951	183
17	713	260
18	991	157
19	32	23
20	1.219	445
21	190	130
22	1.564	315
23	1.466	290
24	483	210
25	4.478	649
26	349	125
27	758	198
28	1.987	313
29	540	271
30	257	116
31	1.114	175
32	636	115
33	1.766	295
Total	28.121	5.764

Nota: de los 713 establecimientos de la división 17 (Industria del papel), 80 corresponden al grupo 17.1 (Fabricación de pasta papelera, papel y cartón) y 633 al grupo 17.2 (fabricación de artículos de papel y cartón)

La tasa de respuesta parcial para una cierta variable del módulo, se puede expresar como el cociente entre el número de registros en los cuales dicha variable toma un valor y la muestra efectiva. Dado que en las respuestas en blanco no es posible distinguir entre las incidencias "no procede" (valor nulo) y "no consta" (valor desconocido o "missing") no puede hablarse de tasas de respuesta parcial en sentido estricto. Por ello, los porcentajes que se presentan a

continuación son en puridad "*proporciones de respuesta parcial*", las cuales, con las salvedades anteriormente expuestas, pueden asimilarse a las tasas de respuesta parcial.

En el 98,9% de los módulos sobre el uso del agua dados por válidos, se ha cumplimentado un valor físico en la variable relativa al volumen de agua usada proveniente de la red o de captación propia: de ellos, el 84,8% declararon usar agua de la red de suministro y el 21,5% tener captación propia de agua (superficial y subterránea), teniendo un 6,3% ambos orígenes del agua. De los que disponían de captación propia, un 81,3% declararon utilizar aguas subterráneas y un 18,7% aguas superficiales.

Del total de módulos válidos, un 87,8% cumplimentaron un valor monetario en la variable relativa al importe abonado por el suministro de agua y un 62,4% en el importe del saneamiento (alcantarillado y depuración de aguas residuales). Por lo que respecta al volumen de efluentes industriales vertidos, un 78,7% declararon efectuarlo a la red de alcantarillado y el resto (21,3%) a otros destinos (cauce fluvial, mar, etc.)

1.3 NORMAS DE VALIDACIÓN

La principal dificultad encontrada en la recogida de los datos obedeció a la ausencia de una contabilidad física por parte de los establecimientos industriales, y a veces una imposibilidad del establecimiento para proporcionar los datos requeridos por estar éstos centralizados a nivel de empresa. Por ello, se implantaron una serie de controles estadísticos para acotar los valores muestrales en intervalos numéricos considerados como admisibles, así como para detectar los valores inconsistentes, fuera de rango o que requiriesen un estudio específico para darles la conformidad. Esta normas fueron similares a las que se implantaron en el estudio sobre el uso del agua en la industria manufacturera 2007 – 2010 (ver apartados 3.3 y 3.4 de su metodología).

Se detectaron 62 módulos sin datos en el epígrafe del suministro de agua (red o captación propia); 34 con dato volumétrico del suministro de agua de red pero sin importe del mismo; viceversa, 6 módulos con importe y sin volumen de agua de ningún origen; 877 módulos con un precio unitario del agua de la red elevado o bajo; 89 con volumen de agua suministrada o captada igual a la aportada a los sistemas de refrigeración; 386 sin valores en el volumen de aguas residuales vertidas; 346 para los cuales la suma del agua de la red y captada era inferior al volumen de efluentes vertidos; 134 en los cuales las aguas residuales vertidas eran menores que la suma de las aguas residuales tratadas y el agua reutilizada; 150 en los cuales el volumen de lodos generados era elevado con respecto al volumen de efluentes tratados.

2 Recodificación, imputación y elevación de los datos muestrales

2.1 RECODIFICACIÓN

La recodificación ha afectado principalmente en lo que respecta al origen del agua captada y al destino del agua vertida. (apartado 5.1 de la metodología del estudio sobre el uso del agua en la industria manufacturera 2007-2010).

2.2 IMPUTACIÓN

Se han seguido los mismos criterios que se aplicaron en el precitado estudio (apartado 5.2).

2.3 ESTIMADORES

El procedimiento de elevación se aplica a los datos muestrales para calcular unos valores que estimen los valores reales que toman las variables que figuran en el módulo. El procedimiento aplicado es un estimador de razón basado en el diseño de la encuesta donde los factores de elevación (w) se construyen teniendo en cuenta la proporción de la muestra teórica en cada estrato (TAME).

$$\hat{Y} = \sum_h \hat{y}_h = \sum_h \left(\sum_i^{n_h^*} y_{ih} w_h + \sum_{k \neq h} \sum_j^{n_k^h} y_{jk} w'_k \right) \text{ siendo } w_h = \frac{\hat{N}_h^*}{n_h^*} \text{ y } w'_k = \frac{N_k}{n_k}$$

Donde el primer sumatorio abarca las unidades i (establecimiento) de la muestra efectiva en el estrato h , que no han cambiado de estrato, y el segundo sumando se extiende a todas las unidades que han cambiado de un estrato k al estrato h . Los establecimientos industriales que en la muestra efectiva han caído por debajo del umbral de 10 trabajadores, no se incluyen en el proceso de elevación de los datos muestrales.

\hat{N}_h^* se refiere al número de unidades muestrales en cada estrato proporcionado por el diseño, corregido de la proporción de unidades de la muestra teórica del estrato h que cambian a otro estrato, de unidades inactivas temporales (in), duplicados (d) y de recogida directa (rd), considerando la proporción de la muestra teórica en el estrato que presenta cada incidencia. Es decir:

$$\hat{N}_h^* = N_h \left(1 - \frac{d + in + rd}{n_h} - \sum_{k \neq h} \frac{n_h^k}{n_h} \right)$$

Finalmente, para obtener los valores elevados referentes a todo el ámbito del sector industrial manufacturero, es preciso considerar los establecimientos con menos de diez trabajadores ocupados y los autónomos que son empresarios sin

asalariados. La fuente externa utilizada en cuanto al de ocupados ha sido la *Encuesta Industrial Anual de Empresas aplicándose* como ratio medio del volumen de agua usado por trabajador que se infiere de los establecimientos industriales que en la muestra efectiva tienen menos de diez trabajadores. El volumen de agua objeto de este ajuste ha representado un 8% del total estimado por el procedimiento general de elevación anteriormente explicitado.

Carácter especial reviste la elevación de los datos muestrales que se refieren a variables categóricas (respuestas sí o no) o expresadas en porcentaje. Los procedimientos de elevación han sido los que se relacionan a continuación:

– **Variables categóricas**

El valor elevado será el cociente entre el número de respuestas afirmativas en cada variable y el número total de respuestas. Se multiplicó cada respuesta afirmativa por el factor de elevación del establecimiento en cada estrato, se procedió a su suma y se dividió por el número total de establecimientos elevados que han respondido. Este método de elevación presenta una gran robustez ya que el número de establecimientos del universo poblacional y en cada estrato es la suma de los factores de elevación.

– **Variables porcentuales**

Para la elevación de las variables de los destinos de las aguas residuales vertidas y de los usos del agua reutilizada, el procedimiento de estimación consistió en multiplicar el volumen total por el factor y por el porcentaje. En una segunda etapa, para cada rama de actividad económica, se sumaron los valores calculados obteniendo un volumen total para cada una de ellas. Finalmente, para calcular el "*porcentaje elevado*" se procedió a calcular el cociente entre el dato elevado en cada una de las respuestas del apartado en cuestión y el volumen total elevado.

Apuntes metodológicos sobre algunos conceptos y variables del módulo sobre el uso de agua 2015

La autodepuración de los efluentes industriales líquidos o semisólidos con el fin de reducir su carga contaminante no puede desligarse de la reducción de los consumos de agua y de la contaminación, así como de la implantación de procesos de eficiencia energética. En este contexto, la optimización de procedimientos para reducir las pérdidas y fugas en los circuitos de agua de refrigeración y de conducción de vapor cobra una especial importancia.

Ahora bien, los procesos de depuración de los efluentes industriales tienen que adaptarse a las singularidades de cada proceso industrial, a sus caudales, así como al contenido de contaminantes y de materia orgánica. Este hecho obliga a elegir los tipos de tratamiento de los efluentes industriales y el diseño de las plantas de depuración acorde con dichas singularidades, por lo que las estimaciones que se hacen en este estudio por ramas de actividad o agrupación de las mismas, deben ser tomadas con precaución en su utilización como indicadores de cálculo.

Por otra parte, resulta oportuno hacer algunas consideraciones respecto a las variables del cuestionario que atañen a los volúmenes de "*aguas residuales depuradas*" por el propio establecimiento industrial (apartado C.3.4) y los volúmenes de "*aguas residuales depuradas reutilizadas*" (apartado C.4.1) para evitar confusión sobre el sentido que se les da a dichos términos.

Así, en el caso del módulo sobre el uso del agua que nos ocupa, el apartado C.3.4 abarca tanto las "*aguas depuradas*" que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable, como las "*aguas regeneradas*" que son las aguas depuradas que han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan (Real Decreto 1620 /2007).

Con carácter general, puede decirse que las "*aguas depuradas*" son aquellas que reciben modificaciones sencillas basadas en tecnologías de separación, eliminación de la materia disuelta y enfriamiento, mientras que el anexo I.A del mencionado real decreto establece para las "*aguas regeneradas*" cinco bloques de usos potenciales (urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental), cada uno de ellos con unas exigencias de calidad, estableciendo también la citada normativa legal prohibiciones al uso de este tipo de aguas para ciertos usos (consumo humano, agua de proceso en la industria alimentaria, torres de refrigeración, instalaciones hospitalarias, etc..)

En este contexto, es de interés indicar que el apartado C.4.1 engloba tanto las "*aguas depuradas*" como las "*aguas regeneradas*", siendo en extremo difícil establecer una clasificación estandarizada de usos del agua reutilizada según cada uno de estos dos tipos de agua, ya que cada proceso productivo – y por tanto cada efluente líquido – tiene unas características propias que requieren un tratamiento específico.

Finalmente, es preciso señalar que aunque en los apartados del módulo se utiliza el sintagma "*aguas residuales*" (generadas en el proceso productivo o depuradas) por ser ésta una expresión comúnmente utilizada y de general comprensión, en este documento se ha sustituido dicho sintagma por el de "*efluentes industriales*" que se adapta más al ámbito del sector industrial manufacturero, aun cuando por su especificidad, podría haber dado lugar a malentendidos y confusiones si se hubiera optado por utilizarlo en las preguntas del módulo.

En este contexto y a similares propósitos de lo expuesto en el párrafo anterior, el sustantivo "*depuración*" (de aguas residuales) y el epíteto "*depuradas*" empleados en los apartados del módulo, han sido sustituidos en este estudio por "*tratamiento*" (efluentes industriales) y "*tratadas*" respectivamente, por ser estos últimos los vocablos más utilizados en la bibliografía de carácter medioambiental que se ocupa del sector industrial manufacturero.

Agrupaciones por ramas de actividad económica (CNAE-2009)

Divisiones	Grupo de actividades económicas
10-11-12	Industria de la alimentación, bebidas y tabaco
13-14-15	Industria textil, confección de prendas de vestir e industria del cuero
16	Industria de la madera y del corcho
17-18	Industria del papel y artes gráficas / reproducción de soportes grabados
19	Coquerías y refino del petróleo
20-21	Industria química y fabricación de productos farmacéuticos
22	Fabricación de productos de caucho y plásticos
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
24-25	Metalurgia y fabricación de productos metálicos
26-27	Fabricación de productos informáticos / electrónicos / ópticos y fabricación de material / equipo eléctrico
28	Fabricación de maquinaria y equipo
29-30	Fabricación de vehículos de motor y de otro material de transporte
31-32-33	Otras industrias manufactureras (incluye fabricación de muebles y reparación de maquinaria y equipo)

Apartados del módulo sobre el uso del agua en la industria manufacturera

C. Uso del agua			
<p>No tienen que cumplimentar este módulo sobre el uso del agua, los establecimientos industriales cuya actividad principal está comprendida en las secciones B (industrias extractivas) , D (suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado) ó E (suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación) de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009)</p>			
C.1 Agua usada en el proceso productivo			
<p>El agua usada en el proceso productivo (agua de proceso) es la suma del agua utilizada en el proceso industrial, agua para la producción de vapor, agua de refrigeración, agua para limpieza, agua para climatización y agua sanitaria (se excluye el agua reutilizada). El importe abonado al ayuntamiento o empresa concesionaria por el abastecimiento de agua, incluye tanto el importe abonado por servicios de suministro, como por los servicios de alcantarillado y depuración de aguas residuales (se incluye el canon de saneamiento).</p>			
C.1.1 A través de una red pública de suministro de agua			
1. Volumen total de agua usada en el proceso productivo (m ³ /año)			
2. Importe total abonado por el abastecimiento de agua (euros)			
C.1.2 ¿Realiza captación propia de agua?			
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> (ir a la pregunta C.1.5)			
C.1.3 Volumen total de agua captada (m³/año)			
Volumen total de agua captada (m³/año)			
1. Superficial			
2. Subterránea			
3. Agua del mar			
4. Otros tipos de recursos hídricos. (Especificar)			
C.1.4 Importe del canon de captación de agua			
<p>El importe del canon de captación de agua es el abonado por el establecimiento industrial al Organismo administrativo competente (Confederación hidrográfica o Comunidad Autónoma) en concepto de canon de utilización de agua, canon de regulación o canon de ocupación del dominio público hidráulico.</p>			
Importe del canon de captación de agua (euros)			
C.1.5 ¿Realiza algún tipo de pretratamiento del agua usada en el proceso productivo?			
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> (ir a la pregunta C.2)			
C.1.6 Tipos de pretratamiento-ajuste del agua de proceso			
1. Tratamientos primarios: desbaste, filtración, precipitación, floculación SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
2. Tratamientos secundarios: desgasificación, descalcificación, destilación, desmineralización por intercambio iónico, filtración de líquidos (micro-, ultra-, nanofiltración, ósmosis inversa) SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
3. Otros tratamientos: cloración, ozonización, desinfección, eliminación de hierro u otros metales SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
C.2 Agua de refrigeración			
<p>El agua de refrigeración se refiere al aporte de agua para compensar las pérdidas de los circuitos de refrigeración, no al volumen de agua que se mueve por los mismos</p>			
C.2.1 Aporte de agua en los circuitos de refrigeración			
Volumen del aporte de agua en los circuitos de refrigeración (m ³ /año)			
C.2.2 ¿El agua de refrigeración recibe algún tratamiento?			
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			

C.3 Aguas residuales generadas en el proceso productivo			
C.3.1 Volumen total de aguas residuales vertidas			
Volumen total de aguas residuales vertidas (m ³ /año)			
C.3.2 Destino de las aguas residuales vertidas (total 100%)			
1. Red de alcantarillado			%
2. Cauce fluvial			%
3. Mar			%
4. Balsas de decantación			%
5. Al terreno (riego agrícola, zonas verdes y campos de golf, zonas húmedas, etc)			%
TOTAL			100%
C.3.3 ¿Existe segregación de las aguas pluviales y de las aguas residuales?			
SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
C.3.4 ¿El establecimiento industrial depura las aguas residuales generadas en el proceso productivo?			
El enfriamiento no se considera como un tratamiento de aguas residuales			
SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/> (fin del cuestionario)
C.3.5 Volumen de aguas residuales depuradas por el propio establecimiento industrial			
Volumen de aguas residuales depuradas (m ³ /año)			
C.3.6 Tipos de tratamientos de las aguas residuales			
1. Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión (desbaste, desarenado, filtración, flotación, coagulación-floculación, centrifugación)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
2. Tratamientos para la eliminación de materia disuelta (precipitación, procesos electroquímicos, intercambio iónico, adsorción, desinfección)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
3. Tratamientos biológicos (aerobios, anaerobios, eliminación de nitrógeno y fósforo)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
4. Oxidación (química, ozonización, electroquímica, fotocatalítica)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
5. Membranas (microfiltración, ultrafiltración, osmosis inversa, electrodialisis)	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
C.3.7 Volumen de lodos o fangos generados en la depuración de las aguas residuales			
Volumen de lodos o fangos generados en la depuración de las aguas residuales (toneladas de materia seca/año)			
C.4 Reutilización de las aguas residuales depuradas por el propio establecimiento			
Se excluye el agua regenerada procedente de una estación de depuración de aguas residuales (EDAR)			
C.4.1 Volumen total de agua reutilizada			
Volumen total de agua reutilizada (m ³ /año)			
C.4.2 Uso del agua reutilizada (total 100%)			
1. Agua de proceso			%
2. Limpieza de maquinaria, instalaciones y edificios			%
3. Riego (suelos agrícolas, zonas verdes, campos de golf, etc)			%
4. Usos medioambientales (bosques, recuperación y creación de zonas húmedas, etc)			%
5. Otros usos. (Especificar)			%
TOTAL			100%

Glosario de términos y definiciones sobre el pretratamiento del agua del proceso productivo y tratamiento de los efluentes industriales

Apartado C.1 Agua usada en el proceso productivo

El agua usada en el proceso productivo (agua de proceso) es la suma del agua utilizada en el proceso industrial (ingrediente, procesos de mezcla, disolución, reacciones químicas, etc...), agua para la producción de vapor/ agua caliente, agua de refrigeración, agua para limpieza, agua para climatización y agua sanitaria. En el agua usada en el proceso productivo se incluye el agua reutilizada.

C.1.1 A través de una red pública de suministro de agua:

Se trata del agua recibida por el establecimiento industrial a través de una red pública (de titularidad municipal) de abastecimiento de agua. En algunos casos, puede tratarse de agua suministrada por una comunidad de regantes. Se excluye el agua regenerada proveniente de una estación de depuración de aguas residuales (EDAR).

El importe total abonado por dicho volumen de agua es el abonado al ayuntamiento o empresa concesionaria que da el servicio de agua. En este importe, deben incluirse tanto los importes abonados por los servicios de suministro, como por los de alcantarillado y depuración de las aguas residuales, con inclusión del canon de saneamiento. No deben incluirse los gastos incurridos por el propio establecimiento en la depuración de sus aguas residuales.

C.1.6 Tipos de pretratamiento- acondicionamiento del agua de proceso

Se refiere a los tratamientos de agua previos a su uso que tienen por finalidad la eliminación de contaminantes específicos, la reducción de su contenido en sales (ablandamiento/ descalcificación) o en minerales (desmineralización), su potabilización, la eliminación de microorganismos, el aumento de su pureza y buen sabor o evitar la formación de incrustaciones y proteger contra la corrosión.

1. Tratamientos primarios: *desbaste, filtración, precipitación, floculación.*
2. Tratamientos secundarios: *desgasificación, descalcificación, destilación, filtración de líquidos (micro - , ultra - , nano filtración, ósmosis inversa), desmineralización por intercambio iónico,*
3. Otros tratamientos: *cloración, ozonización, desinfección, eliminación de hierro u otros metales.*

Apartado C.2 Agua de refrigeración

El término "*sistemas de agua de refrigeración industrial*" se aplica a los sistemas que eliminan el exceso de calor de cualquier medio a través de un intercambio térmico con agua o aire, a fin de reducir la temperatura de dicho medio a niveles próximos al medioambiente.

El objeto de este apartado no es estimar el volumen de agua que se mueve por los circuitos de refrigeración sean éstos en circuitos cerrados o abiertos, sino el volumen de agua que es necesario suministrar a dichos circuitos para compensar las pérdidas.

C.2.1 Aporte de agua en los circuitos de refrigeración:

Se refiere al volumen de agua que en los circuitos de refrigeración, es preciso aportar para compensar las pérdidas debido a la evaporación, purgas y aguas de desecho para evitar la excesiva mineralización.

C.2.2 ¿El agua de refrigeración recibe algún tratamiento? :

Se trata de tratamientos que evitan o reducen la corrosión, la oxidación, las incrustaciones, la sedimentación y el desarrollo de organismos biológicos en los equipos de refrigeración. Para ello, se suelen utilizar tratamientos químicos o biocidas oxidantes. El agua purgada de dichos equipos puede ser también tratada antes de su descarga al medioambiente.

Apartado C.3 Aguas residuales generadas en el proceso productivo

C.3.6 Tipos de tratamiento de las aguas residuales

1. Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión

Se refiere a los tratamientos que persiguen la eliminación de componentes o materiales de cierto tamaño en suspensión en las aguas residuales.

- **Desbaste:** eliminación de sólidos de gran tamaño. Generalmente se utilizan rejillas por las que se hace circular el agua.
- **Desarenado:** sedimentación/ decantación de las partículas más pesadas que el agua, que no hayan quedado retenidas en el desbaste.
- **Filtración:** eliminación de materia en suspensión haciendo pasar el agua por un medio poroso. Este proceso puede ser por gravedad o por presión.
- **Flotación:** arrastre de las partículas en suspensión hacia la superficie del agua mediante la generación de burbujas de aire. En esta operación se utilizan reactivos para favorecer la emulsión.
- **Coagulación-floculación:** eliminación de la materia en suspensión coloidal, mediante la adición de reactivos químicos que favorecen su sedimentación.
- **Centrifugación:** separación del agua de partículas de sólido de muy pequeño tamaño por medio de una fuerza mecánica giratoria.

2. Tratamientos para la eliminación de materia disuelta

Son tratamientos que tienen por objetivo la eliminación de partículas de reducido tamaño que encuentran en suspensión o disueltas en el agua.

- **Precipitación:** eliminación de la materia sólida disuelta en el agua por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble (generalmente una sal) que precipita.

- Procesos electroquímicos: paso de la corriente eléctrica a través del agua que provoca reacciones de oxidación- reducción en el cátodo y en el ánodo respectivamente.
- Intercambio iónico: retención sobre la superficie de resinas especiales, de los iones disueltos en el agua que posteriormente se integran en una disolución.
- Adsorción: captación de la materia soluble en la superficie de un sólido (carbón activo u otro material) para su posterior eliminación. Este refinado del agua se suele aplicar al final de los sistemas de tratamiento más usuales, especialmente, con posterioridad a un tratamiento biológico.
- Desinfección: destrucción o inactivación de los microorganismos ya que el agua es uno de los principales medios transmisor de enfermedades (bacterias, virus, protozoos, etc.), mediante la adición de agentes oxidantes (cloro y compuestos clorados).

3. Tratamientos biológicos

Son tratamientos que utilizan microorganismos (principalmente bacterias) para la eliminación de la materia disuelta, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre dicha materia. Generalmente, se utilizan para la oxidación de la materia orgánica biodegradable, así como aquélla que contiene elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo).

- Aerobios: los microorganismos utilizados necesitan el oxígeno en su metabolismo ya que este elemento es el aceptor de electrones, Este tratamiento puede producir una importante generación de fangos, debido a lato crecimiento de las bacterias aerobias.
- Anaerobios: los microorganismos utilizados no necesitan oxígeno para su desarrollo. En este caso el aceptor de electrones es el dióxido de carbono o parte de la propia materia orgánico. Este proceso tiene la ventaja de la producción de un gas combustible como es el metano.
- Eliminación de nitrógeno y fósforo: se denominan tratamientos anóxicos y se llevan a cabo en ausencia de oxígeno y en presencia del anión nitrato NO_3^- , lo que permite que este anión sea el aceptor de electrones y se reduzca a anión nitrito (NO_2^-). Este tipo de tratamiento se caracteriza por la producción del denominado "biogás" formado por metano y dióxido de carbono.

En ciertas condiciones, se puede producir la total eliminación biológica de los nitratos y los nitritos (desnitrificación), transformándose de óxido de nitrógeno (NO_2) o en nitrógeno (N_2).

4. Oxidación

Se refiere a tratamientos que tienen por objetivo la oxidación de compuestos solubles en que no son biodegradables o lo son difícilmente debido a su alta concentración.

- Química: comprende la incineración, la oxidación húmeda catalítica (CWAO) y no catalítica (WAO) y la oxidación húmeda supercrítica (SWAO)

- **Ozonización:** son procesos avanzados de oxidación (AOP) que implican la generación de radicales hidroxilo que interaccionan con los compuestos orgánicos disueltos en el agua. Generalmente utilizan como agente oxidante el ozono, de ahí su denominación. También pueden usarse ultrasonidos como fuente de energía para la degradación de compuestos orgánicos en medio acuoso.
- **Electroquímica:** estos tratamientos se basan en la utilización de la energía eléctrica para la ruptura de los enlaces moleculares, transfiriéndose los electrones al compuesto orgánico mediante la intervención de radicales hidroxilo.
- **Foto catalítica:** en este tipo de procesos en los cuales un fotocatalizador absorbe la luz o la radiación electromagnética, lo que acelera la oxidación de la materia orgánica. El principal fotocatalizador utilizado en este tipo de procesos es el dióxido de titanio (TiO_2).

5. Membranas

Las membranas son tejidos semipermeables que separan dos fases, impidiendo su contacto y restringiendo el movimiento de partículas a través de ella de forma selectiva. Estas propiedades físicas de las membranas permiten la separación de sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.

- **Micro filtración:** los valores de diferencia de presión transmembrana están comprendidos en el intervalo 100 – 500 KPa, pudiendo separar tamaños de partículas en el rango 0,1 mm – 10 mm. Requieren gasto de energía para crear la presión separadora.
- **Ultrafiltración:** estos procesos suelen denominarse también como micro filtración y nano filtración y utilizan diferencias de presión transmembrana de 100 – 800 kPa. Requieren gasto de energía para crear la presión separadora.
- **Osmosis inversa:** es un proceso por el cual, sin gasto de energía, el soluto de la solución acuosa de mayor concentración, se mueve a través de la membrana permeable a la solución de menor concentración en dicho soluto. La fuerza que genera la fuerza impulsora para lograr la separación de la sal, es una diferencia de presión transmembrana. Este es la tecnología utilizada para producir agua desalada a partir de agua de mar.
- **Electrodialisis:** estos procesos de separación utilizan membranas con cargas eléctricas que restringen el paso de los iones presentes en la solución acuosa. El flujo de iones a través de la membrana es provocado por el diferencial de potencial eléctrico.