

JOSE MARÍA DE VIANA

Ingeniero civil, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, 1976. Ha ocupado diferentes cargos en empresas de servicios públicos: asesor de la Presidencia, Digitel (2007 hasta el presente); presidente de Movilnet (2004-2007); vicepresidente de operaciones comerciales de Movilnet (2002-2003); gerente general de telecomunicaciones públicas de CANTV (1999-2002); presidente de Hidrocapital: Acueductos del Área Metropolitana (1992-1999).

Ha estado vinculado con otras actividades asociadas al ejercicio profesional: presidente de Conapri, 2012-2014; presidente de Casetel, 2011-2013; director principal de la Junta Directiva de Corporación Alpaís, C.A. Empresa de Promoción, Construcción y Ventas de Viviendas, 2006 hasta el presente; presidente de la Junta Directiva de Altair, Empresa de Telefonía Satelital, 2002-2004; miembro de la Junta Directiva de Movilnet, 2000-2007; presidente de la Junta Directiva de Hidrocapital, 1992-1999; miembro de la Junta Directiva del Metro de Caracas, 1998-1999.

Se ha desempeñado como docente en el IESA, la Universidad Metropolitana y la Universidad Católica Andrés Bello.

capítulo **14.**

*El agua en los sectores
industriales petroleros y no petroleros*

JOSE MARÍA DE VIANA

CONTENIDO

- 14.1. Distribución geográfica de la industria en Venezuela *pág.* 562
 - 14.2. Usos del agua en la industria *pág.* 563
 - 14.3. Estructura, magnitud y distribución del agua utilizada en el medio industrial *pág.* 563
 - 14.4. Sectores industriales no petroleros con mayor uso de agua *pág.* 566
 - 14.5. Uso del agua en la producción de gas y petróleo *pág.* 581
 - 14.6. Restricciones en la disposición final de efluentes industriales *pág.* 587
 - 14.7. Avances tecnológicos para el uso más eficiente del agua y su mejor disposición final *pág.* 587
 - 14.8. Prospección de la demanda de agua para la industria año 2040 *pág.* 591
- Referencias *pág.* 593

- 1 La industria es el motor económico de un país, transforma materias primas y genera productos con valor económico que producen empleos y provocan un efecto multiplicador en los otros sectores de la economía, en especial en el sector servicios.
- 2 Desde el punto de vista global, luego del uso de agua con fines agrícolas, el uso para la industria es el segundo en magnitud. La tabla 14.1 y la figura 14.1, confirman lo indicado.

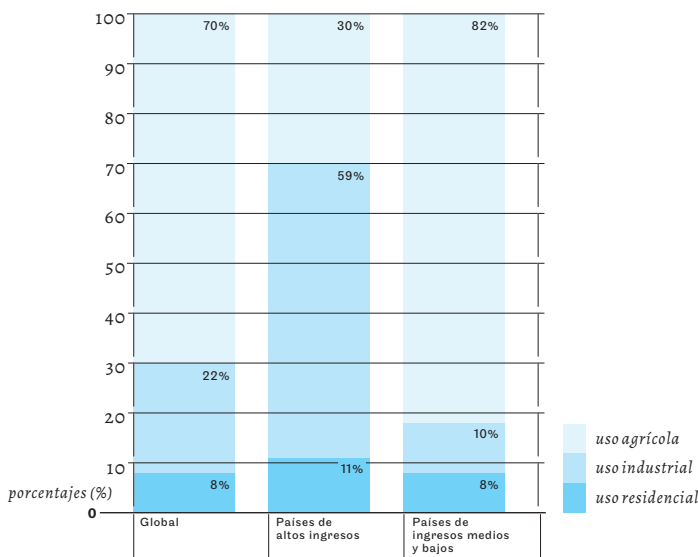
TABLA 14.1 Usos del agua en algunos países y consumo mundial (m³/per cápita/año)

Fuente: Hoekstra and Champaign (2007)

País	total	doméstico	industrial		agrícola	
			propio	importado	propio	importado
Brasil	1.381	70	51	18	1.155	87
México	1.440	139	31	72	837	361
China	702	26	65	6	565	40
India	980	38	19	2	907	14
Estados Unidos	2.482	217	609	197	1.192	267
Consumo mundial	1.243	57	79	40	907	160

FIGURA 14.1 Usos de agua por actividad a nivel global

Fuente: elaboración propia basado en World Business Council for Sustainable Development, 2006



3 En este capítulo:

- Se expone la ubicación geográfica de la industria en Venezuela esto es, los sitios donde se ubican las industrias más importantes del país.
- Se expone la importancia del agua en la industria, se describen las razones que hacen del agua un elemento fundamental en los procesos industriales, los fines con que el agua se utiliza en ellos y cuáles son las propiedades que hacen que el agua sea útil para esos fines.
- Se muestran las cantidades de agua que se demandan y se consumen en los procesos industriales.

- Se describen los procesos industriales de manera simplificada para entender por qué el agua es imprescindible para ellos, comenzando por los sectores industriales no petroleros que incluyen producción de alimentos y bebidas, la industria química, la industria de pulpa y papel y las industrias metálicas; para después pasar a describir el uso del agua en la producción de petróleo y gas y en su transformación.
- Se introduce el concepto de *agua virtual* como el volumen total de agua requerido para producir un determinado producto, en el caso de alimentos, incluye el volumen de agua utilizado para la producción de la materia prima más el que se consume durante el proceso industrial.
- Finalmente, se describe el problema de disposición de los efluentes industriales y la necesidad de conseguir formas de devolverlos al ambiente sin ocasionar daños irreversibles, así como los avances tecnológicos recientes más importantes para hacer un uso más eficiente del agua y así regresarla al ambiente causando el menor daño posible.

14. 1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA INDUSTRIA EN VENEZUELA

4 La industria petrolera, la industria de bienes intermedios y la industria mecánica se distribuyen geográficamente en Venezuela como se describe a continuación (GÓMEZ y SANCHEZ, 2008), (CÓRDOVA, 2008):

- Las instalaciones más importantes de refinación en Venezuela son las siguientes: el Complejo Refinador Paraguaná (CRP), conformado por la integración de las refinerías de Amuay y Cardón, ubicadas en la península de Paraguaná que concentran más del 73 % de la capacidad de refinación instalada en el país; la refinería de Puerto La Cruz y la de El Palito, en Puerto Cabello, que concentran el 26 % de esta capacidad.
- El Complejo Petroquímico Morón, cerca de Puerto Cabello, produce fertilizantes nitrogenados y fosfatados, amoniaco, ácido nítrico, nitrato de amonio, urea, superfosfatos y explosivos.
- El Complejo Petroquímico de El Tablazo, ubicado en la margen oriental de la barra del lago de Maracaibo, estructurado orgánicamente por un complejo básico constituido por la planta de cloro-soda y olefinas, que utiliza gas natural, y empresas mixtas que producen amoniaco y urea, polietileno de baja densidad, poliestireno, cloruros y polivinilos.
- El Complejo Criogénico de Jose donde se comprimen, extraen y fraccionan los líquidos del gas natural. Allí están ubicadas las plantas de mejoramiento de crudos que convierten los petróleos pesados y extrapesados de la faja petrolífera del Orinoco en crudo sintético de calidad comercial.
- La industria química básica (nota 1) del país está concentrada en la región zuliana y en el estado Falcón, en tanto que el sector privado opera la industria química de especialidades localizada fundamentalmente en la región central-metropolitana, en los valles del Tuy y parcialmente en Guarenas y Guatire.
- La industria básica metalúrgica se concentra en la región Guayana, en torno a los procesos de extracción y beneficio primario de mineral de hierro y de bauxita, del potencial hidroeléctrico de la región y de otras fuentes energéticas como son los campos de gas de Monagas y Anzoátegui.
- Las cadenas aguas abajo de la industria metalúrgica y metalmecánica están localizadas en la región central, específicamente en la cuenca del lago de Valencia y en el estado Zulia, como proveedora de la industria petrolera. Ella comprende materiales tales como vigas, cables, tornillería, tuberías, alambres, envases, válvulas, conexiones, bombas, motores eléctricos, calderas y recipientes a presión, maquinarias para

(nota 1)

La industria química básica se desarrolla a partir de materias primas naturales, y extrae sustancias y fabrica productos semielaborados que son utilizados en la industria química de transformación.

la agroindustria y el transporte. Otros emplazamientos importantes de la industria metalmecánica están en la región centro-occidental, Guayana y los Andes.

- La producción industrial de materiales no metálicos se concentra en las regiones central y capital.
- La agroindustria está ubicada en la región los Andes en un 24%, le sigue la centro-occidental con el 21%, y la región central, 18%. El mayor número de estos establecimientos se dedica a la producción de productos cárnicos e industrias vinculadas a la preparación y conservación de carnes, tales como mataderos industriales y salas de matanza de ganado bovino, aves y ganado porcino; también aquellas pertenecientes a productos de la molinería tales como maíz trigo y arroz (BELLORÍN, 2008).

14. 2. USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

5 Los principales usos del agua en la industria son los siguientes (WBCSD, 2005):

- Como *refrigerante* en los procesos de enfriamiento y como *almacén y transporte* de calor en procesos de transferencia.
- Como vehículo para *mezclar o disolver* materias primas. Luego estas mezclas o soluciones se procesan de distintas formas, en algunos procesos el agua es incorporada al producto final y en otros es separada.
- Como componente principal de los procesos de *lavado, limpieza y separación de detritos* tanto en elementos de materia prima como en los productos en proceso.
- Como elemento de control de *cenizas y polvo en suspensión*, generados como subproductos de ciertos procesos industriales.
- Como arma principal para el *combate de incendios*.

6 El agua posee propiedades que la hacen necesaria en prácticamente todos los procesos de producción de bienes y servicios industriales. En cada uno de estos usos se utilizan las propiedades fisicoquímicas únicas del agua entre las que merecen destacarse las siguientes (FÉLEZ SANTAFÉ, 2009):

- *Alto calor específico* que le permite absorber enormes cantidades de calor aumentando su temperatura pero conservando su estado líquido en un amplio espectro de temperaturas calor específico 1 cal/g. Los procesos de fusión (80 cal/g) y vaporización (540 cal/g) también requieren de enormes cantidades de calor que son utilizados por los procesos industriales de transferencia de calor y de transformación de energía calórica en energía mecánica.
- El agua es un *disolvente universal*: la estructura molecular del agua le permite crear soluciones moleculares o iónicas con una amplia gama de materiales que pueden ser luego separados a voluntad. En el caso de materiales no miscibles, como los aceites, el agua es utilizada también como vehículo de separación, arrastre y transporte esencial en procesos de separación y lavado.
- Al resultar del producto de la combustión del hidrógeno en un ambiente de oxígeno, el agua es *incombustible* y es la principal arma para el combate de incendios por su capacidad refrigerante al absorber enorme cantidades de calor al vaporizar y por separar el substrato en combustión del oxígeno.

14. 3. ESTRUCTURA, MAGNITUD Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA UTILIZADA EN LA INDUSTRIA

7 Esta sección tiene por objetivo explicar las dimensiones del uso del agua en la industria en el contexto del total de usos, así como sus componentes internos. A nivel mundial la FAO ha desarrollado un sistema de estadísticas de uso de agua (nota 2) que permite establecer magnitudes y relaciones entre los distintos usos. En este sistema

(nota 2)
Aquastat FAO.

(nota 3)
3.405,5 l/pc/día

la FAO estima que el uso promedio de agua en el mundo, es de 1.243 m³/per cápita/año (nota 3). Ese valor cambia de acuerdo con las condiciones particulares de cada país: sus niveles de producción y consumo, y las características propias de los bienes que consume y produce.

8 Es interesante que cada país produce agua internamente pero también la exporta a otros países o la importa de ellos en los productos que comercia. Así, el consumo total de agua de cada país corresponde a los bienes que consume más el valor neto de la que importa menos la que exporta incorporada en los productos que consume.

(nota 4)
La huella hídrica de las naciones es el volumen total de agua dulce usado (consumido, evaporado o contaminado) por los bienes y servicios que consume un país, sean bienes y servicios producidos en el país o importados.

9 El uso industrial medio es de 119 m³/per cápita/año, pero varía grandemente con la intensidad de la producción industrial de cada país así como del tipo de bienes que produce. En los Estados Unidos el uso industrial es de 806 m³/per cápita/año, mientras que en la India es solamente de 21 m³/per cápita/año, tal como lo muestra la tabla 14.1, el cual incluye el concepto de *agua importada* en productos agrícolas e industriales, concepto denominado *huella hídrica de las naciones* (nota 4).

10 En todo caso, el uso industrial presenta variaciones importantes de un país a otro tal como se muestra en la tabla 14.2.

TABLA 14.2 Consumo industrial de agua por países (m³/per cápita/año)

Fuente: SASI Group and Mark Newman (2006)

Mayor uso industrial del agua. Período 1987–2003			Menor uso industrial del agua. Período 1987–2003		
rango	país	valor	rango	país	valor
1	Bulgaria	1.303	183	República Dem. del Congo	1,25
2	Serbia y Montenegro	1.061	184	Haití	1,22
3	Canadá	1.009	185	Malí	1,11
4	Estados Unidos	723	186	Etiopía	0,96
7	Eslovenia	520	187	Nigeria	0,87
8	Azerbaiyán	497	188	República U. de Tanzania	0,66
9	República de Moldavia	453	189	Mozambique	0,65
10	Francia	389	190	Uganda	0,64
11	Alemania	388	191	Chad	0,48
12	Rumania	383	192	Cambodia	0,36

11 La intensidad de uso de agua varía con el nivel de producción industrial de cada país, con su mezcla de productos industriales y la eficiencia de las tecnologías que utiliza.

12 Cada proceso industrial utiliza el agua para diferentes fines y con distinta intensidad por unidad de producto elaborado. Estos últimos varían con las tecnologías de producción que se usen, pues existen procesos más eficientes que otros; así como también con las prácticas de reúso. Se destacan entre los usos principales la refrigeración y la alimentación de calderas como procesos de transferencia de calor y el uso de agua como parte de los procesos de manufactura propiamente dichos.

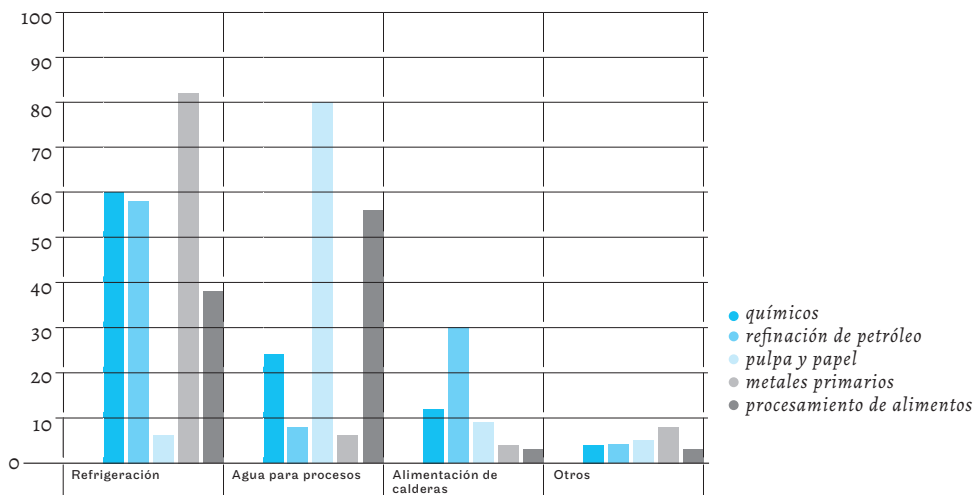
13 Es útil distinguir aquí la diferencia entre el uso del agua y su consumo. La mayor parte del agua utilizada por la industria corresponde a procesos de transferencia de calor en

los cuales solo una pequeña porción se evapora y la mayor parte del agua se retorna al medio ambiente y puede ser usada de nuevo con otros fines.

- 14 La figura 14.2 presenta los usos principales del agua en distintos sectores industriales. Destacan entre los usos principales la refrigeración y la alimentación de calderas como procesos de transferencia de calor y el uso de agua como parte de los procesos de manufactura.

FIGURA 14.2 Tipos de uso de agua por industria

Fuente: Ellis y Dillich, s.f.



- 15 Las tecnologías más eficientes de uso del agua tienen por objetivo retornar al ambiente la mayor fracción del agua usada y tratar las aguas residuales para reducir el impacto ambiental y permiti su reúso aguas abajo.
- 16 Para ilustrar la enorme diferencia en el uso del agua entre los distintos sectores industriales, la tabla 14.3 muestra las cantidades de agua requeridas para producir una tonelada de varios productos finales.

TABLA 14.3 Cantidades de agua requeridas para producir una tonelada de producto final

Fuente: Ellis y Dillich, s.f.

Sector industrial	consumo de agua (m ³ /t de producto)	
Pulpa y papel	60	
Industria del acero	68	
Extracción de acero	2,5	
Químicos	Azufre	9
	Lactosa	700
Procesamiento de alimentos	Cerveza	12
	Productos lácteos	14
	Industria cárnica	16
	Panificación	3
	Enlatado de granos	57
	Enlatado de vegetales	15

14. 4. SECTORES INDUSTRIALES NO PETROLEROS CON MAYOR USO DE AGUA

17 Esta sección tiene por objetivo describir las actividades industriales, distintas a la actividad petrolera, que se distinguen por usar volúmenes importantes de agua. Se describirá el uso de agua en la industria de generación de electricidad, el procesamiento de alimentos y bebidas, la producción de metales y la industria química.

14. 4.1. INDUSTRIA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

18 Las sociedades modernas consumen enormes cantidades de energía, necesaria para el transporte, la iluminación y la alimentación de equipos eléctricos y electrónicos. El uso principal es el transporte que, en mayor medida, se alimenta de derivados del petróleo y del gas. Después del transporte la principal forma de energía usada es la eléctrica por su movilidad, seguridad y por ser limpia. La electricidad que se usa es producida a partir de tres fuentes principales: la hidroelectricidad, la termoelectricidad y las fuentes alternas tales como las células fotovoltaicas y las turbinas de viento.

19 El consumo bruto per cápita de electricidad en Venezuela es del orden de los 4.000 kWh/per cápita/año. La fuente principal de generación de energía eléctrica es la hidroelectricidad, que genera alrededor del 80% de la energía eléctrica que se consume, seguida por la termoelectricidad, que genera el 20 % restante. Las fuentes alternas aún no participan de manera significativa (GÓMEZ y SÁNCHEZ, 2008).

14. 4.2. GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

20 La generación hidroeléctrica es la fuente más importante de electricidad del país y está principalmente asociada a los desarrollos de la cuenca del Caroní que están configurados como lo muestra la figura 14.3. En el capítulo 15 de este libro se describe en mayor detalle este uso del agua.

21 En este caso, el uso consuntivo de agua para la generación de hidroelectricidad está relacionado con el incremento de la evaporación que se produce como consecuencia de la superficie de los embalses de agua que se construyen a tal efecto y que quedan expuestos a la acción de la evaporación.

22 Además, los embalses modifican la distribución temporal de los caudales, el contenido y la calidad de los sedimentos y modifican las características fisicoquímicas del agua almacenada.

23 El agua que mueve las turbinas solo cambia su posición y no su cantidad, pudiendo ser usada aguas abajo nuevamente por lo que no se considera uso consuntivo. Aunque, dada la evaporación desde la superficie de los embalses constituidos para regular los flujos a ser turbinados, se plantea como uso consuntivo por hidroelectricidad la cuantificación de esta pérdida (TORCELLINI *et al.*, 2003).

24 Una estimación del uso consuntivo de agua para generar electricidad en el bajo Caroní puede hacerse multiplicando el área de los embalses de Tocoma, Caruachi, Guri y Macagua, que suman 4.200 km² por la evaporación media anual que es de 1.950 mm, lo que resulta en un volumen evaporado en 8.300 millones de m³ de agua por año (nota 5).

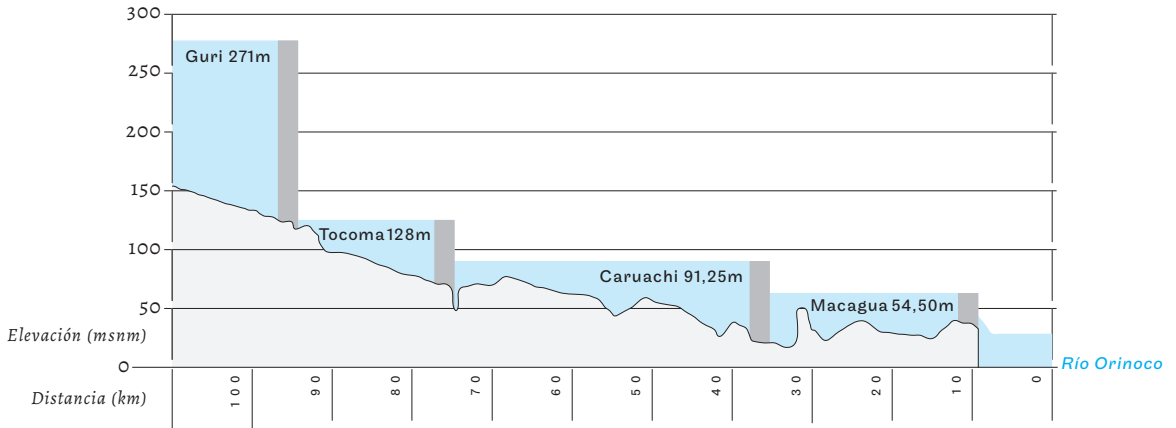
(nota 5)

Unos 264 m³/seg.

- 25 Así, una producción de electricidad anual de 48.000 GWh/año en el bajo Caroní consume por efecto de la evaporación 173 litros de agua por kWh de energía producida.

FIGURA 14.3 Desarrollo hidroeléctrico del bajo Caroní

Fuente: www.intranet.edelca.ve



Capacidad de los proyectos (MW)

Guri	9.589
Casa de máquinas 1	2.835
Casa de máquinas 2	6.754
Macagua	386
Casa de máquinas 1	2.376
Casa de máquinas 2	2.160
Casa de máquinas 3	172
Caruachi	2.160
Tocoma	2.160
TOTAL BAJO CARONÍ	16.843

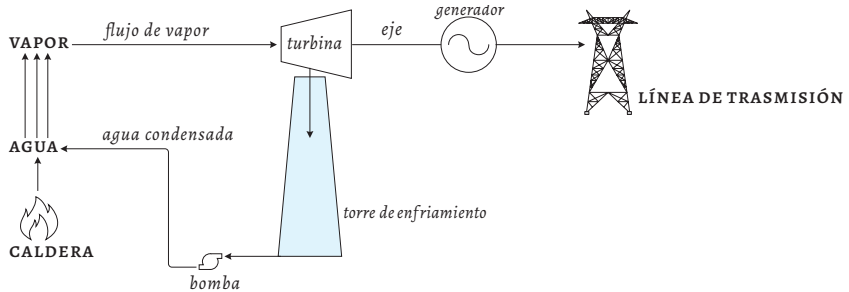
14. 4. 3. GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA

- 26 Se llama generación termoeléctrica el uso de combustibles fósiles, en Venezuela derivados del petróleo o gas, para mover un turbogenerador que produce electricidad.
- 27 Las plantas de generación termoeléctricas más importantes del país son las siguientes: Planta Centro en Morón, estado Carabobo; Tocoa y ampliación Tocoa en Arrecifes, estado Vargas; Ramón Laguna en Maracaibo, estado Zulia; Oscar Augusto Machado en Los Teques, estado Miranda; Rafael Urdaneta en Maracaibo, estado Zulia; y Planta Táchira en La Fría, estado Táchira.
- 28 El corazón de una planta termoeléctrica es un generador de vapor que transforma energía calórica en energía mecánica y esta posteriormente se transforma en energía eléctrica. La energía calórica desarrollada por la combustión en aire genera gases a alta temperatura que transfieren su calor a una caldera que genera vapor en un circuito cerrado de agua. Una vez generado el vapor este mueve una turbina que transforma una parte de la energía calórica en energía de rotación que es transmitida a través de un eje a un generador eléctrico, tal como se muestra en la figura 14.4, página 568.

- 29 El vapor abandona la turbina con un calor reducido y debe ser condensado para cambiar el vapor en agua líquida para iniciar un nuevo ciclo. Una bomba alimenta de forma continua la caldera generadora de vapor.

FIGURA 14.4 Esquema de una planta de generación de electricidad impulsada por combustibles fósiles

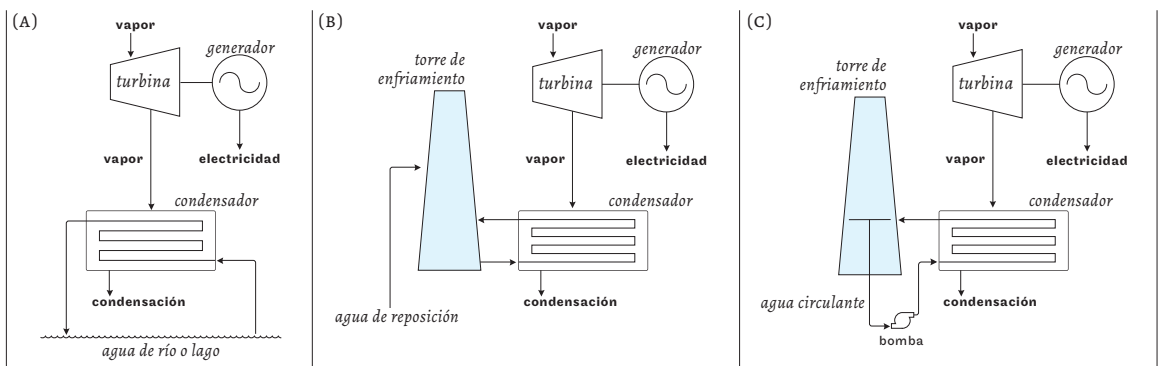
Fuente: Elaboración propia



- 30 Para condensar el vapor residual a la salida de la turbina es necesario retirar calor suficiente hasta lograr el punto de presión y temperatura en el cual el vapor pasa a líquido. El calor transferido se captura en un circuito de agua de enfriamiento externo en un dispositivo denominado condensador.
- 31 El circuito de enfriamiento de agua de la máquina de vapor es el uso de agua más importante del sector industrial. Si bien el uso puede ser de grandes volúmenes de agua, esta no varía su calidad físico-química en el proceso a excepción del incremento de temperatura que ocurre como consecuencia del calor transferido por el vapor.
- 32 Los sistemas de enfriamiento de las centrales térmicas son diseñados siguiendo las tres configuraciones básicas que se muestran en la figura 14.5: sistemas abiertos, sistemas con torre de evaporación y sistemas de circuito cerrado en seco.

FIGURA 14.5 Sistemas de enfriamiento de las centrales térmicas.

(A) Abierto; (B) con torre de evaporación; (C) circuito cerrado en seco



- 33 Los sistemas abiertos de enfriamiento se alimentan de forma continua con agua a temperatura ambiente proveniente de un lago o de un río o del mar, la cual al pasar por el condensador eleva su temperatura y se retorna al cuerpo de agua al cual transfiere el calor. Este sistema requiere de grandes volúmenes de agua pero su consumo es pequeño y se produce como consecuencia del aumento de temperatura, y en consecuencia de la evaporación del cuerpo de agua que recibe el retorno de los condensadores.

- ³⁴ Los sistemas con torre de evaporación utilizan un circuito de agua de enfriamiento parcialmente cerrado para disminuir el volumen de agua requerida para refrigeración. En estos sistemas el agua caliente, luego de pasar por el condensador, se bombea a una torre de evaporación en la cual la mayor transferencia de calor ocurre al provocar que una fracción del agua de enfriamiento se evapore, el agua evaporada debe ser reemplazada y el agua fría se envía de nuevo al condensador. El volumen de agua evaporada que debe ser reemplazada se estima en 2,5% del volumen recirculado.
- ³⁵ Este sistema consume más agua que los sistemas abiertos porque el intercambio de calor se produce a través de la evaporación del agua que es un uso consuntivo.
- ³⁶ Los sistemas más eficientes son los de circuito cerrado en seco. Este sistema consiste en un circuito cerrado de agua de enfriamiento que transfiere el calor a través de un serpentín cerrado enfriado por aire en una torre de ventilación forzada, donde se reduce la temperatura del agua sin evaporarla y, en consecuencia, reduce al mínimo los volúmenes de agua requeridos y consumidos.
- ³⁷ No se cuenta con mediciones que permitan estimar los usos y consumos de agua en las plantas termoeléctricas del país, sin embargo, como referencia se tomará los valores determinados (KENNY, *et al.*, 2009) para las plantas termoeléctricas en operación en EE.UU. De acuerdo a esta referencia, el agua usada es de 72 l/kWh producido de los cuales solo el 2,5% se pierde por evaporación, esto es 1,8 l/kWh.

14. 4. 4. USO DE AGUA EN VENEZUELA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

- ³⁸ La producción de energía eléctrica es el uso industrial que utiliza mayores cantidades de agua en Venezuela, si bien la mayor parte del agua no se consume y puede ser usada aguas abajo.
- ³⁹ La producción bruta de energía eléctrica en el país es aproximadamente de 4.000 kWh/per cápita/año, de los cuales el 80% es de origen hidro y 20% termo. Aplicando los índices de 173 l/kWh y 1,8 l/kWh, el consumo de agua per cápita en Venezuela asociado a la electricidad que se produce es de 493 m³/per cápita/año.

14. 4. 5. INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

14. 4. 5. 1. INTRODUCCIÓN

- ⁴⁰ Para satisfacer sus necesidades de nutrición, las personas toman diariamente alimentos que provienen de la actividad agropecuaria que en su gran mayoría requieren de un procesamiento industrial antes de ser adquiridos por el consumidor, esto es, la mayor parte de los productos agrícolas son materia prima y no productos de consumo directo.
- ⁴¹ Además, el consumidor final en general se encuentra lejos del centro de producción en espacio y tiempo, por lo que casi todos los productos agrícolas requieren de un procesamiento que permita su transporte y almacenamiento para conservar el producto hasta que llegue el momento de su consumo.

- 42 Finalmente, aun los productos de consumo fresco, por motivos sanitarios, deben ser lavados y en algunos casos desinfectados o pasteurizados.
- 43 Se estima (FAO GLOBAL PERSPECTIVES STUDIES UNIT, 2006), que en América Latina se consume aproximadamente 435 kg/cap/año de alimentos, discriminados de la manera que se muestra en la tabla 14.4.

TABLA 14.4 Consumo de alimentos en América Latina

Fuente: FAO Global Perspectives Studies Unit (2006)

Período 1999–2001	kg/cap/año
Cereales	132,6
Raíces y tubérculos	63,6
Azúcar	48,5
Legumbres	11,2
Aceites y vegetales	11,8
Carnes	58,5
Leche y derivados	108,8
SUBTOTAL	435

- 44 Además de los alimentos propiamente dichos, en la dieta se ha incluido un conjunto de bebidas, las cuales varían de un país a otro. No se dispone de cálculos para Venezuela, pero como referencia se presenta la tabla 14.5, que contiene estimaciones hechas para varios países que reportan consumos comprendidos entre 400 y 500 l/cap/año en bebidas que requieren distintos procesos industriales.

TABLA 14.5 Consumos de bebidas en varios países del mundo (l/per cápita/año)

Fuente: Grandjean (2005)

Bebida	EE.UU.	Gran Bretaña	Alemania	Italia	Finlandia
Bebidas carbonatadas	173	91	78	47	31
Leche	102	126	55	68	104
Cerveza	89	108	147	2	63
Agua mineral	.	2	62	50	8
Jugos de fruta	28	16	27	4	29
Vino	16	11	23	80	5
Licores	.	5	19	11	35
Café	98	13	96	57	156
Té	25	40	5	2	3

14. 4. 5. 2. AGUA VIRTUAL

- 45 En esta sección se discute el uso del agua en los procesos de la industria de alimentos y bebidas, recordando que los productos agropecuarios antes de llegar a la planta de procesamiento ya han consumido cantidades enormes de agua en la actividad agrícola, tal como se hace referencia en el capítulo 13 de este libro.
- 46 Se entiende por *agua virtual* contenida en un producto la suma total de los volúmenes de agua necesarios para la producción de ese bien, incluyendo la producción de la materia prima necesaria, en especial aquella correspondiente a la materia prima de

origen agrícola más el volumen de agua necesario para la transformación industrial del producto. En la tabla 14.6 se demuestra este concepto con los valores medios de *agua virtual* incluidos en algunos productos seleccionados.

TABLA 14.6 Contenido de *agua virtual* de algunos productos agroindustriales

Fuente: Robbins (2001)

<i>Producto</i>	<i>agua virtual en litros</i>
1 vaso de cerveza (250 ml)	75
1 vaso de leche (200 ml)	200
1 taza de café (125 ml)	140
1 taza de té (250 ml)	35
1 rebanada de pan (30 g)	40
1 rebanada de pan (30 g) con queso (10 g)	90
1 papa (100 g)	25
1 manzana (100 g)	70
1 franela tipo «t» (250 g)	2.000
1 hoja de papel A4 (80 g/m ²)	10
1 vaso de vino (125 ml)	120
1 vaso de jugo de manzana (200 ml)	190
1 vaso de jugo de naranja (200 ml)	170
1 bolsa de papas fritas (200 g)	185
1 huevo (40 g)	135
1 hamburguesa (150 g)	2.400
1 tomate (70 g)	13
1 naranja (100 g)	50
1 par de zapatos (cuero bovino)	8.000

- 47 Se destaca por su importancia el uso intensivo de agua para producir los alimentos que provienen de la ganadería, en virtud de las bajas eficiencias en la transformación de la cadena alimenticia para la cría y el desarrollo del ganado (nota 6).

(nota 6)

A este respecto destaca la importancia que tiene en Venezuela la ganadería, que ocurre en sitios donde el problema principal eran las inundaciones que se controlaron mediante el desarrollo de una infraestructura adecuada tanto en la zona sur del lago de Maracaibo como en el estado Apure, en este último con tecnologías propias denominadas módulos de Apure.

14. 4. 5. 3. PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

- 48 Esta industria es un enorme consumidor de agua y la usa para distintos propósitos: como ingrediente, como agente de limpieza, como elemento de transporte y mezcla de otros ingredientes, para alimentación de calderas y en los procesos de enfriamiento y congelación.
- 49 Desde la preparación, limpieza y esterilización de materia prima, pasando por los procesos mecánicos y físico-químicos de elaboración, alimentando los procesos de calor y energía y finalmente en los procesos de tratamiento de efluentes y desechos.
- 50 Se distinguen cuatro grandes sectores que agrupan la actividad de esta industria:
- Procesamiento de frutas y vegetales.
 - Procesamiento de carne, pescados y mariscos.
 - Bebidas y licores.
 - Lácteos y sus derivados.

- 51 Las características de cada industria en particular varían de acuerdo a su propósito y a la tecnología adoptada. Algunos consumos de agua característicos en estos sectores se muestran en la tabla 14.7.

TABLA 14.7 Consumo de agua para el procesamiento de alimentos y bebidas

Fuente: Hoekstra and Champaign (2007)

<i>Industria</i>	<i>volumen de agua requerido (rango) l/kg</i>
FRUTAS Y VEGETALES	
Arvejas verdes	50-71
Peras y melocotones	15-20
Otras frutas y vegetales	4-35
ALIMENTOS Y BEBIDAS	
Cerveza	10-16
Pan	2-4
Carnes	15-20
Productos lácteos	10-20
Güisqui	60-80

- 52 Las especificaciones sanitarias que regulan esta industria son estrictas para garantizar que los alimentos estén libres tanto de elementos tóxicos como de agentes potencialmente patógenos.
- 53 A los elevados volúmenes de agua necesarios para satisfacer la demanda de la industria se añade el problema de la disposición adecuada de las aguas servidas y otros desechos industriales. Los subproductos de muchos de estos procesos al estar cargados de material orgánico residual presentan elevadas cargas orgánicas o de contaminantes químicos que deben ser eficazmente tratados antes de descargarlos en el ambiente.
- 54 Las regulaciones sanitarias obligan a eliminar también los elementos potencialmente patógenos presentes en las aguas servidas, por lo cual los efluentes deben tratarse adicionalmente con procesos de oxidación con cloro, ozono y en ocasiones esterilización con sistemas de rayos ultravioleta.
- 55 Una manera de medir el potencial contaminante de determinada instalación es por medio de los valores característicos de DQO y DBO₅ de sus efluentes.
- 56 DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno) es una medida de la cantidad de contaminación que puede ser oxidada por procesos biológicos y se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO_{5,20}); se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.
- 57 Así mismo, el DQO mide la carga contaminante disuelta en el efluente que puede ser oxidada por procesos químicos, y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentra-

ción de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros), que también se reflejan en la medida. En la tabla 14.8 se presentan valores característicos de DBO₅ y DQO de distintos tipos de plantas de procesamiento de alimentos.

- 58 Finalmente, debe mencionarse el elevado potencial contaminante de los desechos sólidos y semisólidos de esta industria, que se incrementan en el tiempo en virtud de la práctica de separar en origen los elementos contaminantes para reducir el impacto ambiental que ellos generan en las aguas servidas. Por lo tanto, será obligatorio que los procesos de disposición de desechos sean ambiental y sanitariamente adecuados.

TABLA 14.8 Valores característicos de DBO₅ y DQO para distintos tipos de plantas de producción de alimentos y bebidas

Fuente: UNIDO (2000)

	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ /DQO
TIPO DE PROCESAMIENTO			
Pastelería	3.200	7.000	0,46
Leches, quesos, yogures	2.700	4.700	0,57
Mermeladas y jaleas	2.400	4.000	0,60
Carnicerías	1.433	2.746	0,52
Carnes especiales	530	900	0,59
Pollos	1.306	1.581	0,83
PRODUCTOS PUROS DE ORDEÑO			
Leche	104.600	173.000	0,60
Helados (10% de grasa)	292.000	540.000	0,54
Sueros de leche	32.000	70.000	0,46

DBO₅ Demanda biológica de oxígeno durante cinco días

DQO Demanda química de oxígeno

14. 4. 6. INDUSTRIA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

14. 4. 6. 1. INTRODUCCIÓN

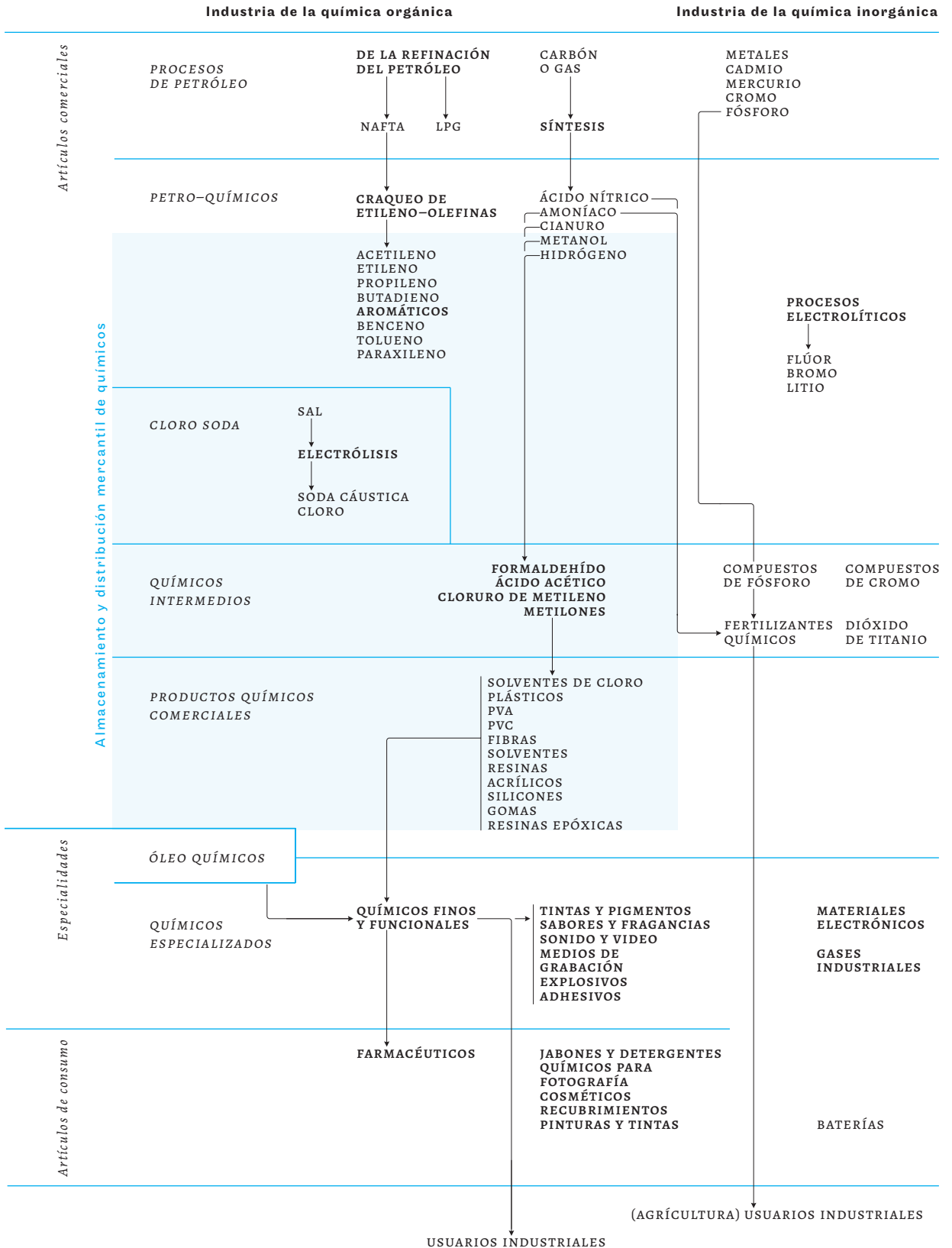
- 59 La industria química está conformada por un conjunto diverso de instalaciones destinadas a la transformación de materias primas derivadas del petróleo crudo, gas, carbón, metales varios y halógenos, entre otros, para la producción de productos intermedios o de consumo final. La figura 14.6, página 574, presenta un diagrama general de los procesos principales de este sector.

- 60 La industria química se clasifica en cuatro categorías de acuerdo con los productos que elabora:

- La producción de insumos químicos genéricos
- La producción de productos químicos específicos: tintes, fertilizantes, adhesivos, plásticos, revestimientos, pinturas, etc.
- Los productos para la salud y la vida: sustancias farmacéuticas, biocidas y derivados de la biotecnología
- Los productos de cuidado personal: jabones, fragancias, detergentes y otros

FIGURA 14.6 Etapas de los procesos en la industria química

Fuente: elaborado en base a Environment Agency (2005)



- 61 La industria química produce de forma global decenas de miles de productos distintos; de algunos pocos genéricos se producen millones de toneladas al año y de otros muchos menos de un mil toneladas al año.
- 62 La mayor parte de la producción mundial de productos químicos se concentra en dieciséis países (OECD, 2001), en nuestro país será cada vez de mayor importancia la industria química asociada al petróleo, al gas y sus derivados.
- 63 La mayor parte del agua utilizada en esta industria corresponde a procesos de transferencia de calor que retornan la mayor parte del agua utilizada, sin embargo, los volúmenes usados son de tal magnitud que obligan a la construcción de sistemas de abastecimiento propios.

14. 4. 6. 2. CALIDAD DE LOS EFLUENTES

- 64 Como subproductos de los distintos procesos se producen elementos químicos intermedios que deben ser dispuestos de manera adecuada para no provocar impacto en el medio ambiente o en la salud y vida de las personas. Una parte de los subproductos se libera en forma de gases, líquidos, lodos o sólidos.
- 65 La tabla 14.9 muestra las materias primas utilizadas por la industria química en el Reino Unido de acuerdo a un informe de la Agencia del Ambiente (Environment Agency). El procesamiento de estas materias primas genera sustancias contaminantes en las descargas de agua de las industrias; muchas de ellas son tóxicas y en algunos casos se acumulan en los tejidos vivos de forma irreversible por lo cual las regulaciones prohíben su disposición en el ambiente.

TABLA 14.9 Materias primas utilizadas en la manufactura de químicos básicos en el Reino Unido

Fuente: Environment Agency, (2005)

Material		ejemplos	miles de toneladas	porcentaje
Materias primas (brutas)	gases	Oxígeno y nitrógeno del aire, gas natural	14.148	55%
	inorgánicas	Sal, azufre, mena de titanio, piedra caliza	3.123	12%
Materias primas (procesadas)	gases	Hidrocarburos (ej. aceite), polímeros (ej. polipropileno, polietileno)	7.141	28%
	inorgánicas	Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, ácido sulfúrico	338	1%
	otros	Metales y otros inorgánicos	1.048	4%
TOTAL			25.799	100%

14. 4. 7. INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL

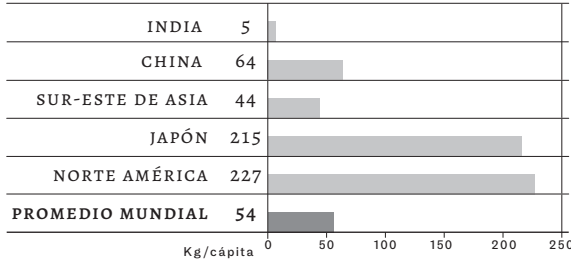
14. 4. 7. 1. INTRODUCCIÓN

- 66 La industria de pulpa y papel procesa madera y otros productos vegetales con celulosa, papel usado y otras fibras para producir papel y cartón en sus distintas calidades.
- 67 A escala mundial, el consumo aparente de papel fue de 53 kg/cap/año para el año 2000 y se estima que crecerá hasta 63 kg/cap/año para el año 2015. Para el año 2000 el consumo de papel se distribuyó de la manera que se muestra en la figura 14.7, página 576.

68 El proceso de producción de pulpa y papel exige la utilización intensa de agua, que es el medio fundamental para su elaboración. El agua es el vehículo que transporta las fibras a través de cada etapa de elaboración y procesamiento físico o químico. En la figura 14.8 muestra un esquema del sistema de alimentación, tratamiento y recirculación de agua de una industria de pulpa y papel.

FIGURA 14.7 Consumo mundial de papel por región/país en kg/cápita/año (año 2000)

Fuente: Country Wise Paper y Paperboard Production y Consumption Statistics, (2009)

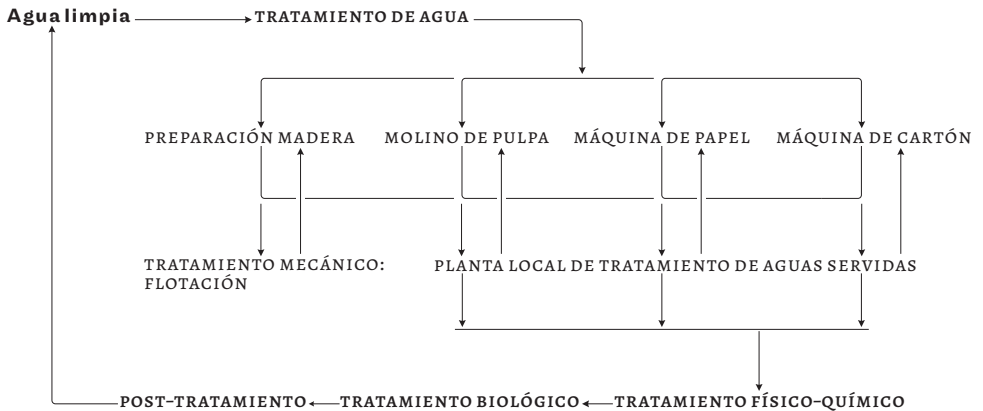


69 El agua permite lavar la fibra para separar los residuos orgánicos o químicos residuales en la fibra y transporta los elementos oxidantes, blanqueadores, biocidas y acondicionadores que permiten lograr al final productos de alta calidad.

70 Las cantidades de agua usadas dependen de la parte del proceso y también de la tecnología empleada, como se presenta en la tabla 14.10.

FIGURA 14.8 Esquema del sistema de alimentación y recirculación de agua de una industria de papel

Fuente: Elaboración propia



14. 4. 7. 2. UTILIZACIÓN DE QUÍMICOS EN LA ELABORACIÓN DEL PAPEL

71 La producción de papel, a partir de madera u otras fibras vegetales es un proceso que usa químicos de forma intensiva.

72 En primer lugar, los elementos de madera son cocidos en una solución química para disolver el lignito que actúa como cemento de las fibras de celulosa que así pueden separarse. Posteriormente, estas fibras deben limpiarse y blanquearse haciendo uso

de una solución de soda cáustica. Compuestos de cloro y oxígeno son luego utilizados para blanquear y abrillantar la pulpa. Al finalizar distintas sustancias permiten en la prensa de papel lograr la calidad, textura y color deseados.

TABLA 14.10 Consumos unitarios de agua en la industria de pulpa y papel (m³/t)

Fuente: Peng (s.f.)

Tipo de papel	número de muestras	consumo de agua (m ³ /t)		
		bajo	alto	promedio
Pulpa	3	90,0	180,0	112,8
Papel de empacar	24	10,0	60,0	23,3
Papel fino	8	35,2	173,6	48,4
Papel tisú	12	13,3	88,9	29,2
Papel especial	6	133,0	438,0	204,9

14. 4. 7. 3. LICOR NEGRO (BLACK LIQUOR)

- 73 La inmensa mayoría del agua utilizada en el proceso de producción de papel es separada con una carga de residuos de lignito y a las sustancias químicas utilizadas en el proceso que forman una solución acuosa se le denomina licor negro (*black liquor*) y es el objeto principal a tratar a fin de reciclar la mayor cantidad de agua posible y disponer de forma correcta tanto el agua residual como de los lodos del proceso.
- 74 Se estima que por cada tonelada de pulpa de papel se generan siete toneladas de este efluente con alto poder contaminante (THE PAPER TASK FORCE, 1995). Este efluente contiene un 15% de sólidos en suspensión: 10% son inorgánicos y el 5% son orgánicos.
- 75 Normalmente los sólidos orgánicos están compuestos en un 45% de detergentes, 45% de lignito y un 10% de otros sólidos orgánicos. Los procesos de tratamiento de este efluente son críticos en esta industria y generan una parte importante de los costos de producción del papel.
- 76 La producción de papel en Venezuela es incipiente. Actualmente existe un proyecto para la construcción de la Planta Venezolana de Pulpa y Papel en el municipio Independencia, ubicado al suroeste del estado Anzoátegui, constituido por un complejo industrial de pulpa y papel que producirá 250.000 t/año de pasta mecánica y papel prensa. Esta planta dispondrá de un sistema de tratamiento de efluentes que permitirá utilizarlos en sistemas de agroforestería, así como también agua potable para el consumo de las comunidades aledañas (FUNDACIÓN CENTRO NACIONAL DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS LIBRES, s/f.).

14. 4. 8. INDUSTRIAS METÁLICAS

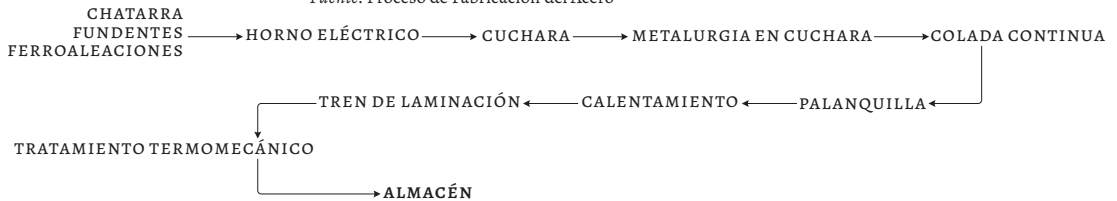
- 77 Esta sección discutirá el uso del agua en la industria de procesamiento de los metales más ampliamente utilizados: acero y aluminio.
- 78 Ambos se producen en Venezuela en virtud de la existencia de ventajas de localización de mineral, energía y del agua necesaria para su elaboración.

14. 4. 8. 1. PRODUCCIÓN DE HIERRO

- 79 El hierro es la materia prima principal para la elaboración del acero, que es el material más ampliamente utilizado en la sociedad moderna, principalmente en la construcción de infraestructura y la fabricación de vehículos.
- 80 El hierro se presenta en la naturaleza como sales de distintas formas, en el caso de Venezuela las principales minas se encuentran en el municipio Piar del estado Bolívar.
- 81 Para su utilización en la fabricación del acero, el mineral de hierro debe ser previamente reducido, es decir, separado de los elementos que lo acompañan en su forma natural. La reducción del mineral de hierro se realiza en Venezuela en varias plantas de reducción directa en caliente. Este es un proceso que reduce el hierro metálico utilizando gas natural como agente químico reductor. La figura 14.9 muestra el diagrama de flujo de este proceso.

FIGURA 14.9 Procesamiento del mineral de hierro en horno eléctrico para producir perfiles de acero

Fuente: Proceso de Fabricación del Acero



- 82 La reducción del mineral de hierro produce briquetas que en su mayor parte son consumidas por Sidor para la fabricación de acero, pero también se exportan a otras plantas siderúrgicas. Venezuela produce alrededor de 8.000 t de hierro al año; junto con India e Irán, está entre los principales productores de hierro del mundo.

14. 4. 8. 2. PRODUCCIÓN DE ACERO

- 83 Venezuela produce al año alrededor de 4.000 toneladas de acero (WORLDSTEEL.ORG). A partir del hierro reducido se elabora una aleación con carbón, que requiere también de piedra caliza y luego de fundir en hornos especiales se produce acero líquido, que será conformado de distinta manera para producir desde planchones, hojalata, perfiles y cabillas hasta tubos sin costura.
- 84 La utilización del agua en la fabricación del acero responde a tres funciones básicas: I) procesos de transferencia de calor, tanto para alimentar sistemas de vapor como en enfriamiento; II) acondicionamiento del producto como solvente y medio de transporte de impurezas y residuos intermedios; y III) control de emisiones al aire, cenizas, polvo y gases.
- 85 Para producir una tonelada de acero se usan alrededor de 300 m³ de agua (ELLIS, s/f), sin embargo, la mayor parte del agua se recicla y los requerimientos de agua fresca se encuentran entre los 50 y 90 m³/t.
- 86 La producción de acero genera un conjunto de subproductos entre los cuales destaca 150 m³ de aguas residuales que deben ser tratadas de forma adecuada para retornarlas al ambiente (tabla 14.11).

- 87 Debe señalarse que la explotación de las minas de hierro se realiza a cielo abierto y que las excavaciones deben ser rehabilitadas de una manera adecuada construyendo áreas verdes arboladas que requieren de agua para su construcción y mantenimiento.

TABLA 14.11 Relación de los insumos utilizados y subproductos generados en la producción del acero

Fuente: Lawson, B, 1966

Energía	19 MJ/kg-producto
MATERIAS PRIMAS	
Ganga de hierro	1.500 kg/t-producto
Piedra caliza	225 kg/t-producto
Carbón (en forma de coque)	750 kg/t-producto
EMISIONES	
Escoria	145 kg/t-producto
Escoria granulada	230 kg/t-producto
Agua residual	150.000 l/t-producto
Emisiones gaseosas (incluyendo dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre)	2 t/t-producto
desglose:	1,950 t/t-producto
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,003 t/t-producto
Óxido de nitrógeno (NO ₂)	0,004 t/t-producto
Óxido de sulfúrico (SO ₂)	0,626 t/t-producto
Componentes volátiles (COV _{tot})	0,234 t/t-producto
Polvo	15,000 t/t-producto
Metales pesados (Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, V)	0,037 t/t-producto

14. 4. 8. 3. INDUSTRIA DEL ALUMINIO

- 88 Luego del acero, el aluminio es el metal de mayor uso en el mundo, principalmente en la industria de la construcción y en la industria del transporte. En Venezuela se producen alrededor de 400.000 toneladas de aluminio líquido al año. El aluminio se presenta en forma de bauxita mineral que es explotado en las minas de los Pijiguaos, desde donde es transportada a través del Orinoco para su procesamiento en el complejo industrial de Matanzas, estado Bolívar. La bauxita se transforma en alúmina a través de procesos de digestión, precipitación y calcinación. Para producir el aluminio, la alúmina se somete a electrólisis en un medio de criolita fundida a 900 °C en celdas especiales. El flujo de materiales necesario para la producción de una tonelada de aluminio líquido se muestra en la figura 14.10, página 581. Los subproductos residuales de la fabricación de aluminio se presentan en la tabla 14.12, página 580.

- 89 El agua en la elaboración del aluminio se utiliza para:

- Los procesos de transferencia de calor, tanto para la generación de vapor como en los procesos de enfriamiento.
- Preparación de la solución del digestor con la soda cáustica, floculantes y cal, en la generación de alúmina.
- Lavado y reciclado de los residuos de bauxita y soda cáustica.
- Mitigación de la polución del aire por polvo y cenizas.

TABLA 14.12 Productos residuales de la producción de aluminio

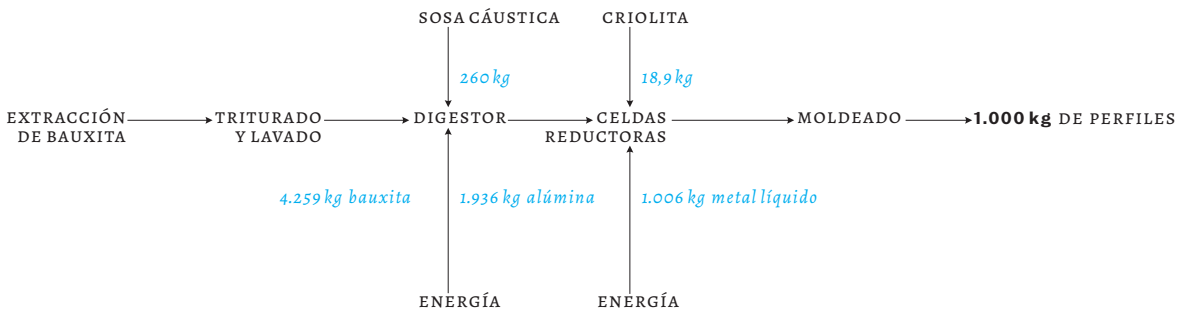
Fuente: International Aluminium Institute (2003)

Proceso	extracción de bauxita	producción de alumina	producción de ánodos	electrólisis	fundición de lingotes	TOTALES	
EMISIONES A LA ATMÓSFERA							
Flúor como gas (<i>F</i>)	.	.	0,02	0,55	.	0,57	kg
Flúor en partículas (<i>F</i>)	.	.	0,004	0,5	.	0,50	kg
Partículas	12,2	1,2	0,1	3,3	0,08	16,88	kg
NO _x (como NO ₂)	.	2,24	0,13	0,35	0,12	2,84	kg
SO ₂	.	10,2	0,7	13,6	0,2	24,70	kg
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	.	.	0,02	0,13	.	0,15	kg
Benzopireno (<i>BaP</i>)	.	.	0,1	5,0	.	5,10	g
Tetrafluormetano (<i>CF₄</i>)	.	.	.	0,22	.	0,22	kg
Hexafluoroetano (<i>C₂F₆</i>)	.	.	.	0,021	.	0,021	kg
Ácido clorhídrico (<i>HCl</i>)	.	.	.	.	0,067	0,067	kg
Mercurio	0,0002	.	.	.	.	0,0002	kg
EFLUENTES LÍQUIDOS							
Agua dulce	6,4	.	.	3,2	3,8	13,40	m ³
Agua salina	6,6	.	.	20,9	.	27,50	m ³
Fluoruro (como <i>F</i>)	.	.	.	0,2	.	0,20	kg
Aceites/grasas	0,13	.	.	0,008	0,009	0,15	kg
PAH6 componentes de Borneff	.	.	.	3,77	.	3,77	g
Sólidos suspendidos	1,43	.	.	0,21	0,02	1,66	kg
Mercurio	0,0018	.	.	.	.	0,0018	kg
SUBPRODUCTOS PARA RECICLAJE EXTERNO							
Residuos de bauxita	2,3	.	.	.	.	2,30	kg
Escoria	.	.	.	.	13,0	13,00	kg
Polvo de filtros	.	.	.	.	0,57	0,57	kg
Otros subproductos	.	.	.	.	.	0,00	kg
Material refractario	.	.	3,1	0,5	0,5	4,10	kg
Pedazos vendidos	.	.	.	.	2,2	2,20	kg
SPL carbón combustible/reúso	.	.	.	9,9	.	9,90	kg
SPL ladrillos refractarios/reúso	.	.	.	5,5	.	5,50	kg
Acero	.	.	1,7	6,9	.	8,60	kg
RESIDUOS SÓLIDOS							
Residuos de bauxita (<i>lodo rojo</i>)	1905	.	.	.	.	1905	kg
Desperdicios de carbón	.	.	2,4	4,6	.	7,00	kg
Escorias – relleno	.	.	.	.	7,7	7,70	kg
Polvo filtro – relleno	.	.	.	.	0,4	0,40	kg
Otros desperdicios – relleno	703	47,5	2,7	7,3	1,3	761,80	kg
Desperdicios refractarios – relleno	.	.	2,5	1,2	0,7	4,40	kg
Lodos de los depuradores	.	.	0,8	13,7	.	14,50	kg
SPL – relleno	.	.	.	17,3	.	17,30	kg
Desperdicios de alumina	.	.	.	4,7	.	4,70	kg

- 90 La producción de una tonelada de aluminio líquido usa 40 m³ de agua que son retornados como aguas usadas con distintos contaminantes en solución o en suspensión que deben ser separados antes de disponer las aguas en el ambiente.
- 91 Merece especial mención la producción de los llamados *lodos rojos*, en una cantidad de aproximadamente 1.900 kg por cada tonelada de aluminio. Estos lodos, altamente alcalinos, contienen los residuos del proceso de digestión de la bauxita para la producción de alúmina y tienen una alta capacidad para contaminar los cuerpos de agua superficial o subterránea; razón por la cual deben ser almacenados en lagunas de secado para luego disponerlos de forma adecuada y segura que evite cualquier riesgo de contaminación.
- 92 De igual manera, se llama la atención sobre las emisiones de flúor que es una sustancia tóxica y acumulativa en tejidos vivos.

FIGURA 14.10 Flujo de materiales necesario para la producción de una tonelada de aluminio

Fuente: Adaptado de Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry April (2008)



14. 5. USO DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO

- 93 El petróleo y el gas natural son las fuentes de energía principales que motorizan la vida de las naciones, en efecto, el 33,5% y el 20,9% del total de la energía consumida en nuestros días proviene del petróleo y del gas natural (BP, 2012).
- 94 Venezuela tiene historia y futuro en la producción de petróleo y gas por poseer enormes reservas probadas y muchas décadas de producción, refinación y exportación.
- 95 Las principales cuencas petroleras del país actualmente en explotación son:
- La cuenca del lago de Maracaibo aporta el 44% de la producción nacional
 - La cuenca del Apure está integrada por los estados Barinas, Apure y Portuguesa y aporta el 3% de la producción nacional
 - La cuenca Oriental comprende las zonas petroleras de los estados Anzoátegui, Monagas, Guárico, Sucre y Delta Amacuro. Esta cuenca pasó a ser la más importante del país en cuanto a producción del crudo; de ella proviene el 53% de la producción nacional
- 96 En esta sección se discutirá el uso y el manejo del agua en las labores de explotación y transporte de petróleo y del gas hasta las instalaciones de refinación o los puertos de embarque.

14. 5.1. INTRODUCCIÓN

- 97 El petróleo y el gas se originan de restos de vegetales y animales acumulados en el fondo de cuerpos de agua que fueron sepultados a través del tiempo por rocas sedimentarias y hundidos profundamente, de forma tal que sometidos a procesos extremos de presión y temperatura provocaron la transformación termoquímica de la materia orgánica en hidrocarburos.
- 98 Los yacimientos de petróleo y gas aparecieron cuando esta pirolisis ocurrió en formaciones permeables o porosas, confinadas por formaciones impermeables, que conformaron depósitos subterráneos que contienen hidrocarburos atrapados entre los espacios vacíos de arenas o gravas o entre las grietas de las formaciones rocosas.
- 99 La producción de petróleo y gas requiere de la localización de estos yacimientos, su extracción del subsuelo y su transporte hasta las plantas de refinación o hasta los puertos de exportación.
- 100 Pueden distinguirse cuatro procesos en la industria de explotación de petróleo o gas:
- Exploración y perforación
 - Explotación de yacimientos
 - Separación de productos a boca de pozo
 - Transporte

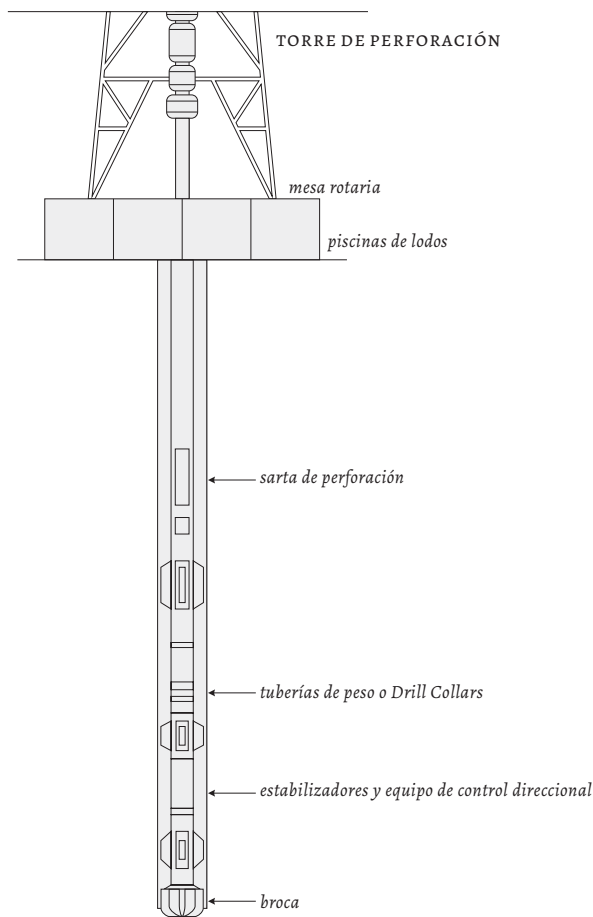
14. 5.2. EXPLORACIÓN Y PERFORACIÓN

- 101 Desde la superficie y utilizando métodos de investigación geofísica se hace inferencia de la localización, magnitud y calidad de los yacimientos, pero este es un proceso con información indirecta e insuficiente que solamente se comprueba cuando finalmente se perfora y se evidencia o no, la existencia de un yacimiento, su calidad y el volumen de los productos que contiene.
- 102 Una parte de los pozos perforados son declarados no productivos cuando los supuestos exploratorios no coinciden con la realidad del subsuelo.
- 103 La perforación del pozo es la primera actividad que utiliza agua para producir lodos de perforación que son necesarios para contener las paredes del pozo mientras se perfora, para arrastrar a la superficie los materiales excavados y para refrigerar las brocas de perforación. En la figura 14.11 se muestra esquemáticamente en qué consiste la exploración y perforación de un pozo.
- 104 Desde el inicio de la perforación de un pozo aparecen condiciones de riesgo ambiental por la toxicidad y peligros involucrados en el manejo tanto de insumos, reactivos y aditivos utilizados por la industria como de los subproductos que acompañan al hidrocarburo hasta la superficie, cuando luego de separarlos deben ser dispuestos de forma adecuada.
- 105 La perforación trae a la superficie materiales o subproductos que han permanecido en el subsuelo por millones de años, algunos de ellos con alto potencial contaminante, que obligan a prácticas de manejo y disposición complejas y costosas.

- 106 Como consecuencia de las características estructurales del subsuelo, el crudo que se extrae de los yacimientos viene mezclado con agua en distintas proporciones. En muchos casos, las mismas aguas favorecen el proceso de extracción, pues ejercen una presión natural, empujando al crudo hacia la superficie una vez perforado el pozo. Estas aguas se conocen como «aguas de formación».

FIGURA 14.11 Esquema de la exploración y perforación de un pozo de petróleo

Fuente: El Mundo del Petróleo.ppt, s.f.



- 107 Las proporciones de agua de formación que se encuentran en el fluido extraído dependen del tipo de yacimiento. En los Estados Unidos se reporta 7,5 barriles de agua de formación por cada barril de petróleo (API), aun cuando la media mundial es cercana a tres (KHATIB y VERBEEK, 2003).
- 108 Las cuencas venezolanas en las cuales el petróleo presenta los mayores volúmenes de agua de formación asociadas al crudo son la de Barinas–Apure y la del lago de Maracaibo, donde se encuentran fluidos hasta con el 98% de agua de formación.
- 109 Las aguas de formación conjuntamente con el crudo son transportadas por tuberías a las plantas de recolección y tratamiento, donde se separan el agua y el crudo de manera natural, pues por diferencia de densidades el aceite se aparta del agua.

- 110 Las aguas de formación aumentan su cuantía con la edad del pozo, observándose al final de la vida operativa de los pozos un incremento sustancial en los volúmenes producidos (XINHUA, 2009), (ARTHUR, LANGHUS y PATEL, 2005), (ALLEN, COHEN, ABELSON y MILLER, 2011), (BALL, 2005).
- 111 La calidad de las aguas de formación depende del yacimiento, puede afirmarse que las preocupaciones más importantes son: sus altas temperaturas, elevadas salinidades, hidrocarburos en emulsión, metales pesados en solución y en algunos casos elementos radioactivos. Por estas razones las normas ambientales obligan a reinyectarla al subsuelo para evitar la destrucción de los ecosistemas. Cuando el contenido de sales es bajo las normas ambientales permiten su tratamiento y disposición en los cuerpos de agua naturales o su reúso en diversas actividades, previo el tratamiento en separadores API que permiten disminuir el contenido de hidrocarburos en el agua hasta el límite indicado por la autoridad ambiental. Las aguas de formación poseen temperaturas elevadas por lo que deben enfriarse y oxigenarse antes de regresarlas al ambiente.
- 112 Además de la razón ambiental, el agua de formación se utiliza para la recuperación secundaria de petróleo. El *Balance ambiental de Venezuela 1994-1995* (MARNR, 1996), citando a Martínez, indica que el primer proyecto de inyección de agua adelantado en Venezuela se realizó en 1960, con el fin de obtener volúmenes adicionales de crudo en el Campo Guara Oeste, estado Anzoátegui. El *Balance ambiental* reporta datos correspondientes al período 1981-1991; de acuerdo con ellos, para 1991 existían 516 pozos activos. El máximo número de pozos de inyección se alcanzó en 1987 y fue de 846. *Petróleo y Otros Datos Estadísticos* (PODE, 2008) indica que el número de pozos de inyección de agua en Venezuela para 2007 y 2008, era de 107 y 391, respectivamente.
- 113 La tabla 14.13 muestra los componentes que generalmente se encuentran disueltos en las aguas de formación.

TABLA 14.13 Composición química típica de los componentes disueltos en aguas de formación

Fuente: Guerra, Dahn, y Dunderf

	Componentes
Sales disueltas	Cationes: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} y Fe^{2+} Aniones: F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , y HCO_3^-
Orgánicos disueltos	Ácidos grasos Hidrocarburos alifáticos Aromáticos (<i>Benceno, tolueno y etilbenceno</i>) Fenoles
Metales pesados	Cadmio (<i>Cd</i>), Cromo (<i>Cr</i>), Cobre (<i>Cu</i>), Mercurio (<i>Hg</i>) Níquel (<i>Ni</i>), Plata (<i>Ag</i>), Zinc (<i>Zn</i>)
Elementos radioactivos	Radio 226 y radio 228

14. 5.3. EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS

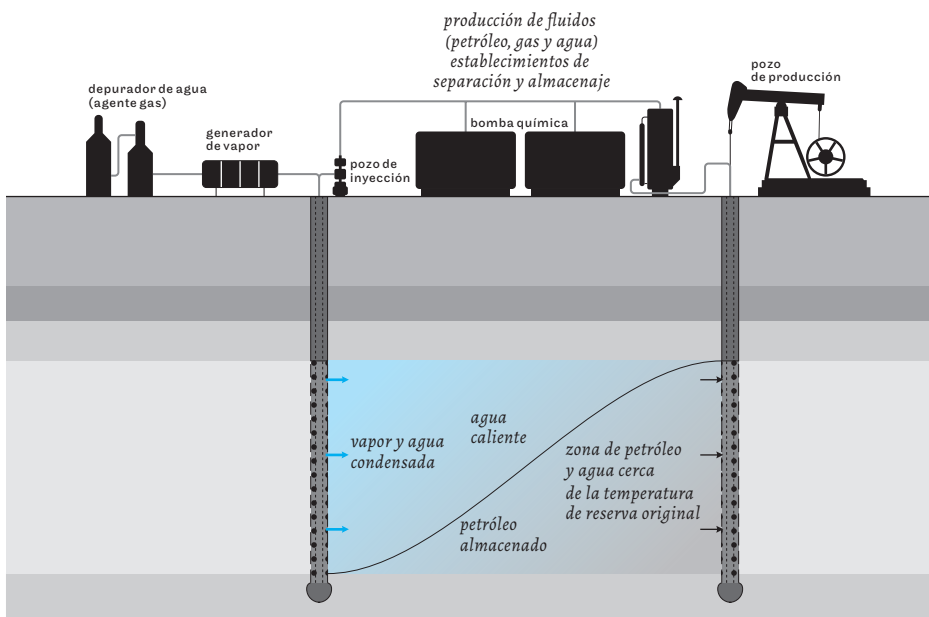
- 114 Al inicio de la extracción de crudo de un pozo, este fluye desde el subsuelo como consecuencia de la presión natural existente en el yacimiento, lo que se conoce como «recuperación por flujo natural». Cuando la presión natural disminuye se recurre a bombeo mecánico mediante el sistema de balancines. Cuando la presión del yaci-

miento se agota es posible extraer cantidades adicionales de crudo utilizando los métodos denominados «de recuperación secundaria».

- 115 Para la recuperación secundaria se inyecta gas o agua a presión al yacimiento para agregarle la presión requerida para extraer el crudo. La inyección de gas en Venezuela se inició en 1932 en los campos de Quiriquire (Monagas) y Cumarebo (Falcón), mientras que la inyección de agua se inició en los años cuarenta en el campo de Guara (Anzoátegui). La inyección de gas, además de permitir extraer una cantidad adicional de petróleo representa una forma de conservar el gas como recurso. La inyección de agua requiere de su tratamiento previo mediante procesos de filtración y adición de productos químicos para evitar el deterioro del pozo. En este proceso de inyección de agua generalmente se utiliza el agua de formación y así se evita regresar al ambiente esta agua cargada de contaminantes (GÓMEZ y SÁNCHEZ, 2008).
- 116 En Venezuela la extracción de petróleo por métodos convencionales genera el 29% de la producción mientras que la extracción por métodos de recuperación secundaria aporta más del 40% (GÓMEZ y SÁNCHEZ, 2008).
- 117 Cuando el período de explotación secundaria finaliza se dice que el petróleo está agotado aunque el yacimiento puede aún contener el 50% del crudo original. Existen métodos denominados de «recuperación mejorada» que permiten extraer este crudo. De estos métodos el más utilizado en Venezuela, por sus ventajas económicas es el de «inyección alternada de vapor», que consiste en inyectar vapor de agua en el pozo y luego cerrarlo durante un tiempo a fin de que se disipe el calor para después abrirlo nuevamente a la producción (GÓMEZ y SÁNCHEZ, 2008). La figura 14.12 muestra esquemáticamente la recuperación térmica de un pozo de petróleo.

FIGURA 14.12 Recuperación térmica de un pozo de petróleo

Fuente: <http://petoil.blogspot/2012/03/enhanced-oil-recovery.html>

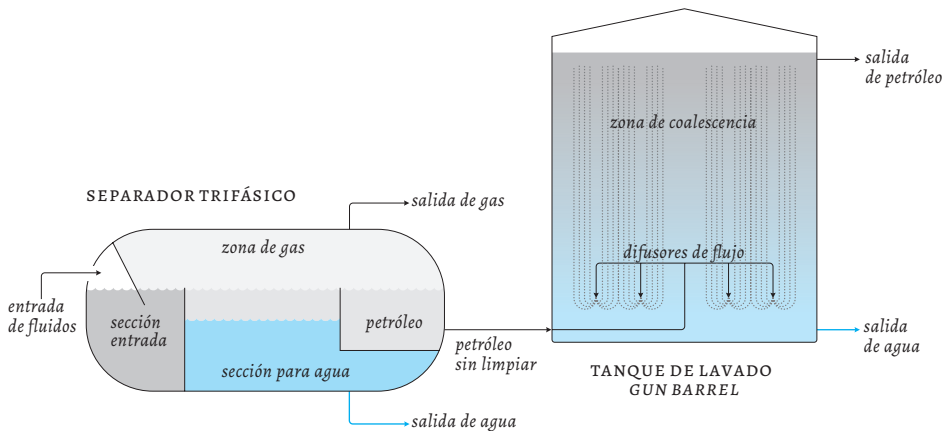


14. 5.4. SEPARACIÓN DE PRODUCTOS A BOCA DE POZO

- 118 El petróleo al aflorar del pozo es un fluido heterogéneo de múltiples fases que viene acompañado en primer lugar por gas natural, llamado gas asociado por ser un subproducto de la producción de petróleo de muchos yacimientos, agua de producción y sólidos variados desde finos hasta arenas y gravas de distinto tamaño y distintos niveles de impurezas.
- 119 La separación del petróleo, el agua, el gas y los sólidos se realiza en tanques de sedimentación donde permanecen el tiempo necesario para su separación (figura 14.13). Luego estos componentes separados son llevados a reservorios para luego ser conducidos a sitios de almacenamiento o de tratamiento o disposición final según corresponda; debido al riesgo que implica el derrame de estas sustancias por su alto poder contaminante.

FIGURA 14.13 Esquema de separación de agua, gas y petróleo

Fuente: El Mundo del Petróleo.ppt



14. 5.5. TRANSPORTE

- 120 Los petróleos pesados son fluidos de alta viscosidad que mientras permanecen en el yacimiento a altas temperaturas y presiones se encuentran en fase líquida, pero al salir a la superficie a temperatura ambiente y presión atmosférica se transforman en una mezcla semisólida con aspecto de bitumen.
- 121 Para transportar estos crudos es necesario calentarlos y mezclarlos con otros fluidos de menor viscosidad y así lograr un líquido que permita su transporte por tubería.
- 122 Se pueden utilizar dos tipos de fluidos para reducir la viscosidad:
- Hidrocarburos de diferente tipo de acuerdo con la disponibilidad en sitio: desde crudos livianos, hasta gases. En algunos casos la mezcla es comercializada como un crudo de menor viscosidad y en otros, en virtud de la escasa disponibilidad del hidrocarburo mejorador, el hidrocarburo mejorador se separa en destino y se recicla.
 - Agua en forma de emulsión con un estabilizante. Esta solución ha sido utilizada en Venezuela al producir la Orimulsion® y en Colombia la denominada Llanomulsión®. Al emulsionar 70% de crudo con 30% de agua se logra una reducción considerable de la viscosidad.

- 123 En cualquiera de los casos se requiere agua para cumplir la etapa de transporte:
- Para alimentar las calderas de transferencia de calor.
 - Para mezclarla con el petróleo, en cuyo caso serán necesarios tres (3) volúmenes de agua por cada diez (10) volúmenes de emulsión.

14. 6. RESTRICCIONES EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE EFLUENTES INDUSTRIALES

- 124 Cada instalación industrial tiene condiciones de proceso distintas que producen, además de los bienes terminados, numerosas sustancias de desecho con variado potencial contaminante. Estas sustancias deben ser regresadas al ambiente con el menor impacto ambiental posible, y los costos de ese tratamiento deben incluirse en los costos de elaboración de los productos terminados.
- 125 Los desechos industriales son siempre una mezcla de emanaciones gaseosas, aguas servidas y sólidos.
- 126 Las regulaciones ambientales son cada vez más exigentes en cuanto al daño ambiental permisible; asimismo, el conocimiento de las consecuencias ambientales de la polución ha mejorado con la investigación y el análisis de casos.
- 127 Los retos ambientales en la industria han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de control ambiental. Los objetivos ambientales de la actividad industrial moderna están dirigidos a:
- Reducir los volúmenes de agua fresca por utilizar
 - Utilizar mejor los productos intermedios, desarrollando algunos nuevos que mejoren a los primeros
 - Reusar el agua tratada en procesos industriales o agrícolas dentro de la propia factoría o aguas abajo de ella
 - Incorporar tecnologías de producción que permitan una mejor calidad de los productos terminados y un uso eficiente de materias primas e insumos

14. 7. AVANCES TECNOLÓGICOS PARA EL USO MÁS EFICIENTE DEL AGUA Y SU MEJOR DISPOSICIÓN FINAL

- 128 Se discuten a continuación las mejores prácticas desarrolladas en la industria para un uso eficiente del agua y las tecnologías en desarrollo que permiten sistemas de tratamiento más eficaces y a un menor costo.

14. 7.1. MEJORES PRÁCTICAS PARA UN USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

- 129 El proceso de mejoramiento de la eficiencia en la industria es continuo y nunca termina. A partir del estudio de casos exitosos se pueden enumerar las tareas que conducen a un mayor ahorro.

14. 7.1.1. DETECCIÓN Y REPARACIÓN DE FUGAS

- 130 Los tanques de agua subterráneos, las tuberías presurizadas subterráneas o internas a paredes y los sistemas de enfriamiento son puntos frecuentes de pérdidas (muchas están ocultas y son difíciles de identificar). Solo un sistema de medición de caudales y presiones permanente por todo el circuito del agua permite la detección oportuna.

14. 7.1.2. SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

131 El agua es utilizada como vehículo para aumentar o reducir la temperatura en distintas áreas del proceso, el ajuste de estos procesos ha resultado en mejoras de eficiencia. Entre ellos se cuentan los siguientes:

- Ajuste de las temperaturas necesarias en el proceso, no enfriar ni calentar más de lo necesario. El calor transferido al ambiente se incrementa con el gradiente térmico y resulta en pérdidas de energía y agua.
- Estudio de la posibilidad de adoptar sistemas de transferencia de calor libres de agua, esto es, sistemas que utilizan aire, aceites minerales o gases industriales como fluido de transferencia.
- Introducción de sistemas de recirculación de agua, en virtud de que muchos sistemas son de circuito abierto y pueden evolucionar a sistemas de circuito cerrado.
- Eliminación periódica de incrustaciones e impurezas en las tuberías del sistema que reducen su eficiencia calórica.
- Introducción de sistemas centrales de calor o frío que en general son más eficientes que múltiples sistemas de menor tamaño.
- Introducción de sistemas de ventilación con velocidad variable en las torres de enfriamiento, para reducir la evaporación.
- Uso de fuentes de agua de menor calidad en los sistemas calóricos, por ejemplo agua de mar o aguas servidas tratadas.

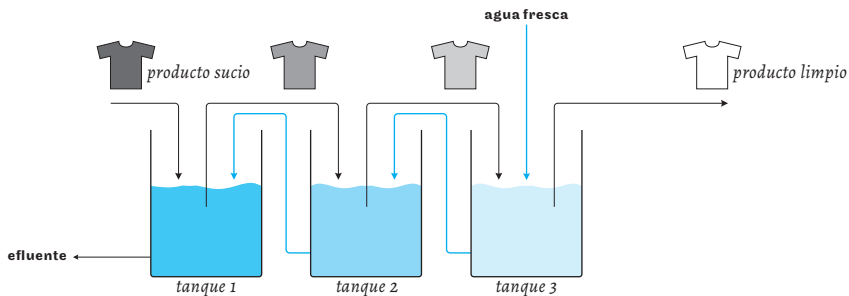
14. 7.1.3. PROCESOS DE LAVADO Y ENJUAGUE

132 Muchos procesos de lavado y enjuague son de un solo paso renovando los volúmenes de agua varias veces en un solo tanque. En la industria textil se han introducido procesos de enjuague a contracorriente en múltiples tanques como el que se ilustra en el esquema de la figura 14.14. Mediante la integración de un número adecuado de tanques y correcto flujo de agua se logra un consumo de agua mucho menor.

133 Es conveniente la introducción de otras acciones mecánicas tales como procesos en seco de gravedad, vacío, soplado o centrifugado de la solución a retirar para hacer más eficiente el enjuague.

FIGURA 14.14 Esquema del proceso de lavado a contracorriente para el ahorro de agua

Fuente: Adaptado de Arab Forum for Environment and Development (2010)



14. 7.2. TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS INDUSTRIALES

- 134 El tratamiento de los efluentes de cada proceso industrial es además de una obligación legal, la principal fuente de eficiencia en el uso del agua al permitir usos sucesivos aguas abajo. El objetivo de las tecnologías de tratamiento es el de alcanzar la calidad del agua exigida por el sistema receptor de las aguas servidas provenientes del proceso en referencia.
- 135 «El control de la contaminación del agua producida por las actividades industriales comenzó con la aprobación por el Congreso de los Estados Unidos de la enmienda de 1972 a la *Federal Water Pollution Control Act*, que estableció un sistema nacional de descarga y eliminación de contaminantes. Las enmiendas de 1977 y 1987, conocidas como *Clean Water Act* y *Water Quality Act*, completan la regulación legal norteamericana. La tendencia en Europa es reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales *in situ*» (FERNÁNDEZ-ALBA, *et al.*, *s/f.*).
- (nota 7) 136 En Venezuela el Ministerio del Ambiente (nota 7) ha procurado el ejercicio de una acción reguladora en materia de control de la contaminación de las aguas por vertidos industriales.
Denominación genérica que abarca el conjunto de nombres que ha tomado este Ministerio desde su constitución en 1997.
- 137 Uno de los primeros puntos de atención del Ministerio del Ambiente fue el lago de Valencia, debido a la concentración de industrias existentes en sus áreas aledañas. En efecto, en 1978 el Gobierno Nacional a solicitud del Ministerio, dictó el Decreto núm.2.994, que obligaba a las empresas establecidas en sus cercanías a instalar plantas de tratamiento de efluentes industriales (MERCADO *et al.*, 2001). En 1978 el Ministerio mediante la Resolución 85 aprobó el Reglamento de Uso, Conservación y Mejoramiento de la Zona Ribereña del Lago de Valencia.
- 138 Los principales instrumentos legales con que cuenta actualmente la Autoridad Nacional del ambiente para llevar a cabo la labor de control de la contaminación de las aguas por efluentes industriales son:
- Ley Orgánica de Ordenación del Territorio, 1983
 - Decreto núm.883, 1995
 - Decreto núm.1257, 1996
 - Ley Orgánica del Ambiente, 2007
 - Ley Penal del Ambiente, 2012
- 139 Por su importancia se sintetizan algunos de los aspectos del Decreto núm.883.
- El artículo 11 faculta el establecimiento de límites para determinados componentes en industrias que así lo requieran.
 - Facultad para decidir sobre control de determinadas sustancias usando criterio de carga másica en lugar de concentración.
 - Prohibición de inyectar aguas que superen determinados límites establecidos en el decreto. Se exceptúa la industria petrolera, pero se fijan estrictas condiciones para los estratos receptores.
 - Contenidos de la propuesta de adecuación al Decreto, la cual debe ser aprobada por la autoridad ambiental.

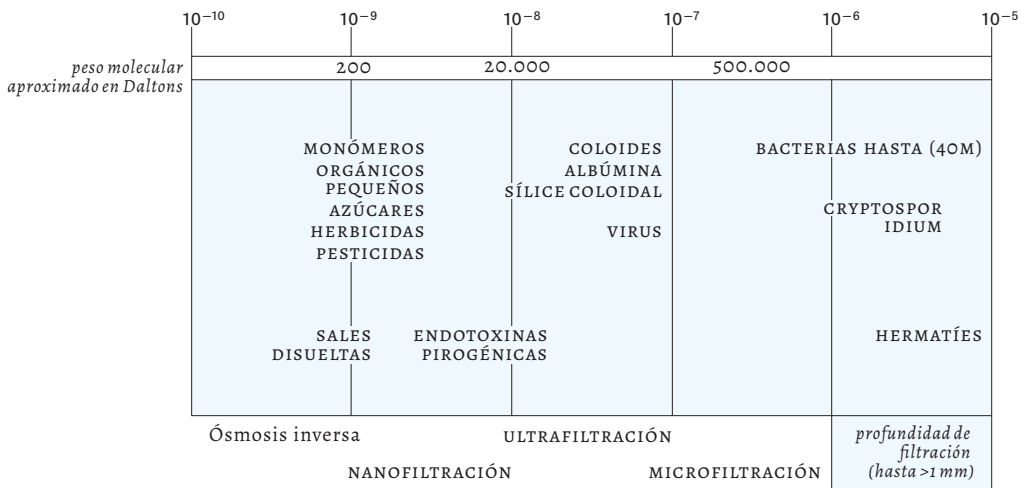
140 Mayores exigencias ambientales y crecientes inversiones en investigación y desarrollo han permitido desarrollar eficiencias notables con respecto a los métodos convencionales de tratamiento así como un grupo de tecnologías emergentes con muy buenas perspectivas. A continuación se presentan algunas de estas tecnologías.

14. 7.2.1. PROCESOS DE SEPARACIÓN Y FILTRACIÓN CON MEMBRANAS

141 Se han desarrollado nuevos materiales y tecnologías que han reducido los costos e incrementado la eficiencia de las membranas como método para la separación de contaminantes en el agua. Los nuevos materiales permiten la fabricación de membranas más eficientes y utilizarlas en procesos donde anteriormente su uso resultaba antieconómico. En la figura 14.15 se muestran los tipos de filtración que existen de acuerdo al tipo de membranas que se utilice. La filtración de membrana se puede dividir en micro, ultra y nanofiltración y ósmosis inversa. Cuando se necesita desalinizar el agua, se aplican la nanofiltración y la ósmosis inversa (RO). La presión requerida para realizar la nanofiltración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultrafiltración, por lo que su consumo de energía es mucho mayor.

FIGURA 14.15 Membranas utilizadas en los procesos de separación

Fuente: elaborado en base a Judd y Jefferson, (2003)



◀ dirección en que aumenta la energía de bombeo

14. 7.2.2. PROCESOS DE DESALACIÓN

142 La separación de sales presentes en el agua se logra a través de membranas por ósmosis inversa o de procesos térmicos que producen vapor que luego se regenera en agua.

143 Se han desarrollado procesos que requieren menores costos y mayores eficiencias que han permitido la introducción de estos en el tratamiento de efluentes industriales.

14. 7.2.3. PROCESOS DE DESINFECCIÓN

144 La utilización de ozono y rayos ultravioleta se presenta cada vez con mayor frecuencia en procesos industriales en virtud de que no generan subproductos indeseables y progresivamente han reducido sus costos.

14. 7. 2. 4. INTEGRACIÓN CON USOS AGRÍCOLAS AGUAS ABAJO

145 En la medida en que se mejora la calidad de los efluentes industriales se permite su integración con actividades agrícolas, acuícolas, de ganadería o de desarrollo forestal con lo que se logra la remoción de nutrientes, en especial el nitrógeno y el potasio que son de difícil eliminación en las plantas de tratamiento, convirtiéndose así estos desarrollos en parte complementaria e importante de su tratamiento.

14. 8. PROSPECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA LA INDUSTRIA EN EL AÑO 2040

146 Se estima que la Venezuela del año 2040 será el hogar de 33 millones de habitantes, de los cuales unos 5 millones podrían estar empleados en el sector industrial, de lograrse un proceso de desarrollo industrial similar al de Brasil en los últimos treinta años.

147 Si se toma el consumo industrial per cápita asociado al uso interno de Brasil de 51 m³/per cápita/año, podemos estimar en unos 1.700 millones de metros cúbicos el consumo anual de Venezuela para el sector industrial en 2040.

148 Nótese que las cifras precedentes resultan de una prospección que parte de dos elementos fundamentales:

- El primer elemento, una imagen-objetivo, en este caso el nivel actual de industrialización de Brasil. Esta es una acotación importante pues COPLANARH (1972) fijó como marco de la imagen-objetivo de Venezuela para el año 2000 el nivel de desarrollo de los países de la costa occidental atlántica de Europa para los años setenta.
- El segundo elemento es la posibilidad de lograrlo. El caudal estimado para el uso industrial en 2040 es inferior al actualmente requerido y manejado para el abastecimiento al medio urbano, eso habla de que existe la capacidad técnica para satisfacer ese requerimiento. Mucho más si tal como se estima, la localización de la mayoría de las nuevas industrias es cercana al río Orinoco y a las ciudades costeras, donde la posibilidad de abastecimiento se estima factible. En el primer caso, por la abundancia del recurso y, en el segundo, por la capacidad de la industria de absorber los costos de desalinización de las aguas.

Conclusiones

149 En el mundo, la industria es la actividad que demanda mayores volúmenes de agua después de la agricultura; al mismo tiempo es la más contaminante de las actividades del hombre.

150 Para el año 2040 los volúmenes de agua demandados por la industria en Venezuela estarán en el orden de los 1.700 millones de m³ por año. Venezuela tiene recursos suficientes para satisfacer esta demanda; el problema que se le plantea es la contaminación que producen sus efluentes por su capacidad de reducir las disponibilidades de agua y de dañar los ecosistemas receptores de manera irreversible, a menos que los efluentes industriales sean reducidos en volumen y tratados debidamente antes de ser devueltos al ambiente.

151 En la región costa-montaña, donde se asienta el 80% de la población venezolana, los recursos hídricos están comprometidos y las zonas con mayor intensidad industrial

que se ubican en ella son responsables de su alta contaminación, tal es el caso de las cuencas de los lagos de Valencia y Maracaibo y de la cuenca del río Tuy

- 152 La situación actual de los sistemas de tratamiento tanto municipales como de las grandes industrias, que son responsables de la contaminación de los ecosistemas más importantes del país, permiten anticipar un proceso de nuevas inversiones en renovación tecnológica y construcción de nuevas plantas que les permitan cumplir con la normativa ambiental vigente.
- 153 Dentro de este contexto, es importante destacar la necesidad de que exista un efecto demostración en materia de disposición de aguas industriales por parte del sector público, pues hasta la fecha, se le exige al sector industrial privado el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para proteger la degradación de los cuerpos de agua pero el sector público la incumple (MERCADO *et al.*, 2001). En el caso de los lagos de Valencia y de Maracaibo son notorios los problemas de operación que evidencian los sistemas de tratamiento de efluentes municipales que llegan a esos cuerpos de agua, y que son significativamente responsables de su contaminación.
- 154 La industria moderna utiliza cada vez tecnologías más productivas y menos contaminantes para competir en un sistema económico globalizado. En el futuro solamente prosperarán aquellas industrias que desarrollen sistemas eficientes y ambientalmente amigables. Dentro de este concepto, la tecnología de tratamiento será cada vez más eficiente, lo que permitirá al país lograr el compromiso de disponer de una producción industrial comercialmente competitiva y ambientalmente responsable.
- 155 Contar con el agua que el país demandará en el futuro para la actividad industrial, la agrícola, la residencial y la de recreación pasará por localizar debidamente las industrias a lo ancho del territorio, en lugares donde el agua esté disponible y se implanten sistemas, debidamente operados y mantenidos, que reciclen el mayor volumen de agua posible y que devuelvan al ambiente los menores volúmenes una vez que hayan sido tratados.

REFERENCIAS

- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). (2005)
Water facts and trends. Geneva. Disponible en: http://www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf. Consulta: septiembre 2012.
- COUNTRY WISE PAPER Y PAPERBOARD PRODUCTION Y CONSUMPTION STATISTICS. (2009)
Obtenido de <http://www.paperonweb.com/Country.htm>.
- ALLEN, L.—M. J. COHEN—D. ABELSON—B. MILLER. (2011)
«Fossil Fuels and Water Quality». En: *The World's Water: The Biennial Report on Fresh Water Resources*. Island Press, Washington.
 - ARAB FORUM FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (2010)
Water Efficiency Handbook. Beirut: Technical Publications/Ak-Bia Tanmia Magazine.
Obtenido de <http://afedonline.org>.
 - ARTHUR, J. D.—B. G. LANGHUS—C. PATEL. (2005)
Technical Summary of Oil y Gas Produced, Water Treatment Technologies. Tulsa, All Consulting LLC.
 - BALL, B. (2005)
Oilfield Water-Oil-Solids Separation. Bixby, OK, High-Tech Consultants.
 - BELLORÍN, M. (2008)
«Geografía de la industria de alimentos en Venezuela». En: *GeoVenezuela*. Fundación Empresas Polar, Caracas, págs. 224-287.
 - BP. (JUNIO DE 2012)
BP Statistical Review of World Energy. Obtenido de <http://www.bp.com/>
 - CÓRDOVA, K. (2008)
«Geografía de la industria». En: *GeoVenezuela*. Tomo 4. Caracas, Fundación Empresas Polar, págs. 150-223.
El Mundo del Petróleo.ppt. (s.f). Obtenido de <http://ww.nogales.edu.co/Biblioteca>
 - ELLIS, M.—S. DILLICH. (s.f)
Industrial Water Use and its Energy Implications. U.S. Department of Energy - Office of Industrial Technologies. Obtenido de http://www.eere.energy.gov/manufacturing/industries_technologies/steel/pdfs/water_use_rpt.pdf
 - ENVIRONMENT AGENCY. (2005)
Measuring Environmental Performance. Sector Report for the Chemical Manufacturing Industry. Environment Agency. Bristol, UK.
 - EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION. (ABRIL DE 2008)
Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry, Life Cycle Inventory Data for Aluminium Production and Transformation Processes in Europe.
 - FAO GLOBAL PERSPECTIVES STUDIES UNIT. (2006)
World Agriculture: Towards 2030/2050. Interim Report. Global Perspectives Studies Unit. Roma, FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/es/ESD/gstudies.htm>
 - FÉLEZ SANTAFÉ, M. (2009)
Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y fundamentos. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/6263?locale=es>. Consultado: septiembre 2012.
 - FERNÁNDEZ-ALBA, A. *et al.* (s.f)
Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Elece industrias gráficas, Madrid.
 - FUNDACIÓN CENTRO NACIONAL DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS LIBRES. (s.f)
Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres.
Disponible en: <http://www.cenditel.gob.ve>
Consultado: 3.10.2012.
 - GLEICK, P. H.—D. HAASZ—C. HENGES-JECK—V. SRINIVASAN—G. WOLFF—K. KUSHING—A. MANN. (2003)
Waste not: The potential for urban water conservation in California. Obtenido de [http://www.pacinst.org/reports/waste not](http://www.pacinst.org/reports/waste_not)
 - GÓMEZ, E.—J. SÁNCHEZ. (2008)
«Geografía de la energía bajo el signo de los hidrocarburos». En: *GeoVenezuela*, Caracas, Fundación Empresas Polar, págs. 486-609.
 - GRANDJEAN, A. (2005)
Nutrients in Drinking Water. World Health Organization. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutrients-indw.pdf

- GUERRA, K.—K. DAHN—S. DUNDORF. (s.f)
Oil and Gas Produced Water Management and Beneficial Use in the Western United States. Denver, CO: Bureau of Reclamation. Obtenido de <http://www.usbr.gov/pmts/water/publications/reports.html>
- HOEKSTRA, A.Y. (2011)
The water footprint assessment manual: setting the global standard. Earthscan.
 - HOEKSTRA, A.—A. CHAMPAIGN. (2007)
Water footprints of nations, water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*. Obtenido de <http://www.waterfootprint.org>
 - INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE ESPAÑA (INE). (ENERO DE 2008)
Estadísticas e Indicadores del Agua.
INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. (2003)
Life Cycle Assessment of Aluminium: Inventory Data for the World Wide Primary Aluminium Industry. International Aluminium Institute.
INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. (SEPTIEMBRE DE 2007)
Life Cycle Assessment of Aluminium: Inventory Data for the Primary Aluminium Industry, Year 2005 Update.
 - JUDD, S.—B. JEFFERSON. (2003)
Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use. Oxford, Elsevier Ltd.
 - KENNY, J. *et al.* (2009)
Estimated use of water in the United States in 2005, USGS. Reston, Virginia.
 - MARTÍNEZ, A. (1984)
Diccionario del petróleo venezolano citado por Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) (1996). *Balance ambiental de Venezuela 1994-1995*. Caracas.
MERCADO, A.—P. TESTA (eds). (2001)
Tecnología y ambiente. El desafío competitivo de la industria química y petroquímica venezolana. Caracas, Fundación Polar.
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR). (1996)
Balance Ambiental de Venezuela 1994-1995. Caracas.
MINISTERIO DE PETRÓLEO Y MINERÍA. (2008)
Petróleo y Otros Datos Estadísticos (PODE) 2007-2008. Disponible en: http://www.menpet.gob.ve/repositorio/imagenes/secciones/pdf_pode/pode_2007_2008/Venezuela.pdf. Consultado: septiembre 2012.
 - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. (2003)
Consumptive Water Use for U.S. Power Production. Colorado. Obtenido de <http://www.osti.gov/bridge>.
 - OECD. (2001)
OECD Environmental Outlook for the Chemical Industry. París, OECD. Obtenido de <http://www.oecd.org/ehs>
 - PENG, C.Y. (s.f)
Water Consumption, Quality Demanded, and Re-use of the treated Wastewater for Paper Industry. Obtenido de <http://www.water.org.tw>
Proceso de Fabricación del Acero (s.f). Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/7/55868-7.pdf>
 - ROBBINS, J. (2001)
The Food Revolution. How your diet can help save your life and our world. Canary Press. York Beach, EE.UU.
 - SASI GROUP AND MARK NEWMAN. (2006)
Industrial Water Use. Obtenido de http://www.worldmapper.org/posters/worldmapper_map325_ver5.pdf
 - SHARP, K.A. (2001)
Water: structure and properties. Philadelphia, E.R. Johnson Research Foundation. Pennsylvania, EE.UU.
 - STUDER, C. (2005)
Virtual Water. Swiss College of Agriculture.
 - THE PAPER TASK FORCE. (1995)
Paper Task Force Recommendations for Purchasing and Using Environmentally Preferable Paper, Final Report, 1995. Obtenido de <http://c.environmentalpaper.org/resources and tools>
 - TORCELLINI, P.—N. LONG—R. JUDKOFF. (2003)
Consumptive water use for U.S. power production. National Renewable Energy Laboratory. Golden, Colorado, EE.UU..
 - U.S.A. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2008)
Chemical Manufacturing, 2008 Sector Performance Report.
UNIDO. (2000)
Pollution from Food Processing Factories and Environmental Protection. Obtenido de <http://c.environmentalpaper.org?resources and tools>.
 - WESTON, K.C. (1992)
Energy Conversion. Pws Pub Co. Har/Dsk Edition. Obtenido de <http://www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston>

- WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2005)
Nutrients in Drinking Water. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutrientsindw/en/indsex.html
- WORRELL, E.—P. BLINDE—M. NEELIS—
E. BLOMEN—E. MANSET. (2010)
Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry.
Ernest Orlando Lawrence Berkeley National
Laboratory.
- WUN JERN, N. (2006)
Industrial Wastewater Treatment. Imperial
College Press, Singapur.
- XINHUA, L. (2009)
*Experimental Analysis of Produced
Water Desalination by a Humidification-
Dehumidification Process*. Tesis de Maestría en
Ingeniería de Petróleo del New Mexico Institute
of Mining, Socorro, New Mexico.