



Universidad de Oviedo

FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA E INORGÁNICA

**PLANIFICACIÓN PARA LA
CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE
CONTAMINANTES EMERGENTES Y SUS
RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN EN LAS
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES**

JULIO ANTONIO PEREZ ALVAREZ

Máster Universitario en *Síntesis* y Reactividad Química

Trabajo Fin de Máster

Curso 2014-2015

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
1.1. LEGISLACIÓN	3
1.2. CONTAMINANTES EMERGENTES	5
1.2.1. <i>Problemática de los contaminantes emergentes</i>	5
1.2.2. <i>Contaminantes emergentes en el ciclo del Agua</i>	6
1.2.3. <i>Clasificación de los contaminantes emergentes</i>	8
1.2.4. <i>Fármacos</i>	14
OBJETIVOS	17
ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN.....	21
3.1. CONTAMINANTES EMERGENTES OBJETO DE ESTUDIO	23
3.1.1. <i>Áreas sanitarias en el Principado de Asturias</i>	23
3.1.2. <i>Estadística servicio sanitario del Principado de Asturias</i>	24
3.1.3. <i>Fármacos seleccionados</i>	29
3.2. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE BAIÑA.....	38
3.2.1. <i>Descripción de las instalaciones</i>	39
3.2.2. <i>Proceso de depuración</i>	44
3.2.2.1. <i>Proceso de fangos activos</i>	45
3.2.2.2. <i>Proceso de eliminación de materia orgánica</i>	46
3.2.2.3. <i>Procesos de nitrificación-desnitrificación</i>	48
3.3. PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	50
3.4. MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES	51
3.4.1. <i>Referencias bibliográficas</i>	51
3.4.2. <i>Método analítico seleccionado</i>	52
3.5. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS	52
3.5.1. <i>Referencias bibliográficas</i>	53
3.5.2. <i>Procedimiento seleccionado</i>	54
3.6. PERMISOS Y AUTORIZACIONES	56
CONCLUSIONES	57
ANEXOS	61
ANEXO I: PARÁMETROS DE PROYECTO PLANTA DE BAIÑA	63
ANEXO II: PARÁMETROS DE DISEÑO PROCESO DE FANGOS ACTIVOS.	91

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1. LEGISLACIÓN

Desde la creación de la Unión Europea, el compromiso medioambiental y la definición de estrategias para la lucha contra la contaminación de las aguas siempre ha sido un objetivo de las políticas europeas.

En los años 90, se desarrolla la directiva de Aguas Residuales Urbanas (Directiva 91/271/CEE).

De forma resumida, la Directiva establece dos obligaciones claramente diferenciadas, en primer lugar las “aglomeraciones urbanas” deberán disponer, según los casos, de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se prevén distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marinas.¹

En el año 2000, con la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas de esta forma, se dispone de una estrategia para luchar contra la contaminación de las aguas. Esta estrategia implica la identificación de sustancias prioritarias entre aquellas que suponen un riesgo significativo en la Unión Europea para el medio acuático o a través de este. En su anexo X se establece la primera lista de 33 sustancias o grupos de sustancias que son prioritarios.

En el marco legislativo actual se debe hacer referencia a la Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013, por la que se modifica la Directiva 2008/105/CE por la que se actualiza la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas por orden de prioridad respecto de las que se establecerán normas de calidad y medidas de control de las emisiones a escala comunitaria.

¹ Directiva 91/271/CEE sobre el Tratamiento de las Aguas residuales Urbanas. Diario Oficial de la Unión Europea, 1991, L135/41.

La Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013, establece:²

“La contaminación química de las aguas superficiales representa una amenaza para el medio acuático, con efectos tales como toxicidad aguda y crónica en organismos acuáticos, acumulación de contaminantes en el ecosistema y pérdida de hábitats y de biodiversidad, y también supone una amenaza para la salud humana. Con carácter prioritario, es preciso identificar las causas de la contaminación y tratar las emisiones de contaminantes en la fuente misma, de la forma más eficaz en términos económicos y ambientales.”

En su Artículo 8 ter:

La Comisión establecerá una lista de observación de sustancias sobre las que deben recabarse datos de seguimiento a nivel de la Unión para que sirvan de base a futuros ejercicios de asignación de prioridad de conformidad.

La primera lista de observación deberá contener un máximo de 10 sustancias o grupos de sustancias e indicará las matrices de seguimiento y los posibles métodos de análisis que no generen costes excesivos, para cada sustancia.

La Comisión elaborará la primera lista de observación mencionada en el apartado 1 a más tardar el 14 de septiembre de 2014 y posteriormente la actualizará cada veinticuatro meses.

En su Artículo 8 quater:

“Con arreglo al Artículo 16, apartado 9, de la Directiva 2000/60/CE, y cuando proceda en función del resultado del estudio de 2013 de la propia Comisión, relativo a los riesgos medioambientales de los medicamentos, y de otros estudios e informes pertinentes, la Comisión desarrollará, en la medida de lo posible, en el plazo de dos años a partir del 13 de septiembre de 2013 un enfoque estratégico para la contaminación del agua por sustancias farmacéuticas.

Ese enfoque estratégico incluirá eventualmente propuestas a fin de que, en la medida de lo necesario, los impactos medioambientales de los medicamentos sean tenidos más eficazmente en cuenta en el procedimiento de comercialización de estos. En el marco de ese enfoque estratégico, la Comisión, en su caso, antes del 14 de septiembre de 2017

² Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea, **2013**, L 226/9-L226/10.

propondrá medidas a escala de la Unión y/o de los Estados miembros, según corresponda, para tratar las posibles consecuencias medioambientales de sustancias farmacéuticas, en especial las mencionadas en el Artículo 8 ter, apartado 1, para reducir sus descargas, emisiones y pérdidas en el medio acuático, teniendo en cuenta necesidades de salud pública y la relación coste/eficacia de las medidas propuestas.”

La directiva recoge en su Anexo I la lista de “sustancias prioritarias” por sus riesgos sobre el medio ambiente y la salud de la población.

1.2. CONTAMINANTES EMERGENTES

La aplicación de la Directiva 2013/39/UE suscita retos que incluyen la diversidad de las posibles soluciones a cuestiones científicas, técnicas y prácticas, o el incompleto desarrollo de métodos de seguimiento, así como las limitaciones de los recursos humanos y financieros.

Es necesario disponer de datos de seguimiento de gran calidad, junto con datos sobre los efectos ecotoxicológicos y toxicológicos, para evaluar los riesgos y así realizar la nueva selección de sustancias prioritarias. Los datos de seguimiento recopilados de los Estados miembros, si bien han mejorado considerablemente a lo largo de los últimos años, no siempre son adecuados para su finalidad en términos de calidad y cobertura de la Unión. Falta en particular, datos de seguimiento de muchos contaminantes “emergentes”, que se pueden definir como contaminantes que en la actualidad no están incluidos en los programas de seguimiento sistemático en la Unión, pero que suponen un importante riesgo, lo cual exige su regulación, dependiendo de sus posibles efectos ecotoxicológicos y toxicológicos, y de sus niveles en el medio acuático.³

1.2.1. Problemática de los contaminantes emergentes

Las sustancias persistentes, bioacumulables y tóxicas (sustancias PBT), y otras sustancias que se comportan como tales, pueden encontrarse durante décadas en el medio acuático a niveles que suponen un riesgo significativo aun cuando se hayan tomado ya amplias medidas para reducir o eliminar las emisiones de dichas sustancias. Algunas pueden también transportarse a largas distancias y presentan una gran ubicuidad en el medio ambiente. Muchas de estas sustancias se encuentran entre las sustancias peligrosas prioritarias existentes o identificadas recientemente.

³ Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea, 2013, L 226/4.

El desarrollo y los hábitos de consumo actuales han dado lugar a la generación de una serie de contaminantes que hasta hace unos años pasaban desapercibidos y para los cuales no se disponía de datos sobre su presencia y sobre los efectos de los mismos sobre el medio ambiente.

Los contaminantes emergentes se definen como contaminantes previamente desconocidos o no reconocidos como tales cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva pero si la preocupación por las posibles consecuencias de los mismos. Los contaminantes emergentes son compuestos de los cuales se sabe relativamente poco o nada acerca de su presencia e impacto en los distintos compartimentos ambientales, razón por la cual y a su vez consecuencia de que no hayan sido regulados, y de que la disponibilidad de métodos para su análisis sea nula o limitada.

Otra particularidad de estos compuestos, es que debido a su elevada producción y consumo, la introducción de los mismos en el medio ambiente es continua, no necesitan ser persistentes para ocasionar efectos negativos.⁴

1.2.2. Contaminantes emergentes en el ciclo del Agua

La principal vía de entrada de los contaminantes emergentes en el ciclo del agua es a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Muchos de estos compuestos debido a sus características químicas no van a ser eliminados en los procesos convencionales de depuración, de manera que dependiendo del tipo de compuesto los encontraremos bien en el efluente de la planta, bien en los biosólidos que se han generado en el proceso de depuración.

Como la mayor parte de estos compuestos no son biodegradables, sino que quedan retenidos en los biosólidos, no serán eliminados de las aguas residuales por lo que continuarán en el ciclo del agua. Pero aun en el caso de que estos compuestos hayan sido retenidos en los biosólidos terminarán apareciendo en el ciclo del agua por procesos de escorrentía y lixiviados.

Por lo tanto el efecto de los contaminantes emergentes en el medio ambiente dependerá de las condiciones del medio y de sus características fisico-químicas, pudiendo encontrarse en distintas matrices, en la línea de agua o en la línea de biosólidos. Este trabajo se centrará en la matriz agua.

⁴ M. Petrovic, D. Barceló. Analysis and Removal of Emerging Contaminants in Wastewater and Drinking Water. *Trends Anal. Chem.* **2003**, 22, 685-696.

En la Figura 1 se representan las posibles vías de entrada de los contaminantes emergentes en el ciclo del agua.

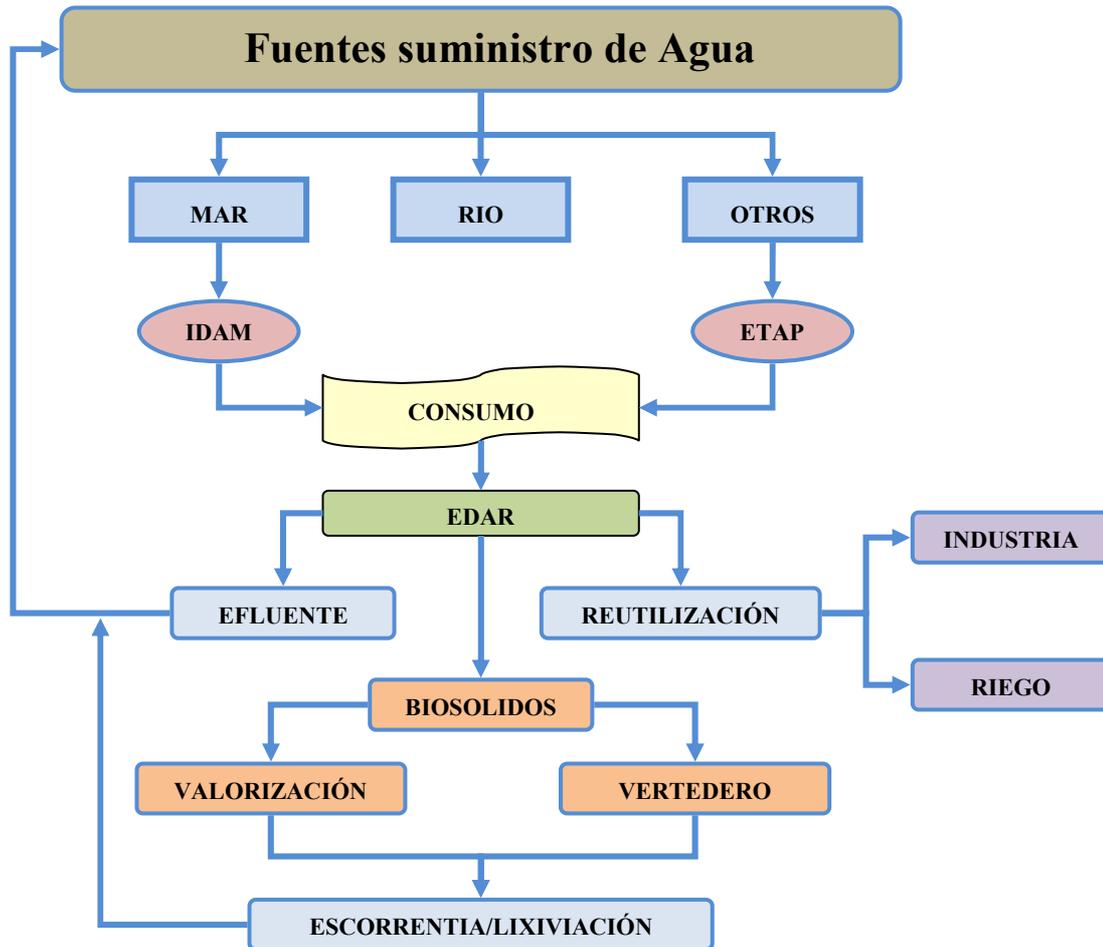


Figura 1. Vías de entrada de los contaminantes emergentes. Notas: IDAM, Instalación desaladora de agua de mar; ETAP, Estación de tratamiento de agua potable; EDAR, Estación depuradora de aguas residuales.

Los contaminantes emergentes se incorporan al medio ambiente de una manera directa a través de las aguas residuales urbanas e industriales, de los residuos de las plantas de tratamiento de los efluentes hospitalarios, de las actividades agrícolas y ganaderas; o bien de una manera indirecta mediante procesos de escorrentía o lixiviación.

El agua, recurso natural, que interviene directamente en todos los aspectos de nuestras vidas (alimentación, higiene, industria, energía, agricultura, salud...) es un bien, que debe ser sometido a criterios de gestión que permita su disponibilidad y buen uso.

Las políticas internacionales hacen del agua un elemento estratégico, que debe venir acompañado de acciones que permitan, a todos los agentes implicados, mejorar el conocimiento del ciclo del agua e incrementar su capacidad de administrar y explotar

mejor sus recursos. Para ello debe mejorarse la base científica y tecnológica con el fin de desarrollar métodos para la gestión racional de los recursos hídricos, incluyendo la protección del medio ambiente.

Los efectos que la contaminación química del agua produce son múltiples; entre los más importantes cabe destacar:

- Acción toxica y cancerígena
- Incidencia sobre la producción de alimentos cuando se utiliza para riego
- Limitación del uso del agua para la reutilización

1.2.3. Clasificación de los contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes engloban una gran variedad de compuestos químicos. Constituyen un grupo muy diverso y sin una clasificación clara, ya que muchos de ellos pueden incluirse en varios tipos.

La Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013 recoge en su Anexo I la lista de “sustancias prioritarias” en el ámbito de la política de aguas, que se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Sustancias prioritarias incluidas en la Directiva 2013/39/UE.

Número	Nº CAS ^a	Nº UE ^b	Sustancia prioritaria	Sustancia peligrosa
(1)	15972-60-8	240-110-8	Alacloro	
(2)	120-12-7	204-371-1	Antraceno	X
(3)	1912-24-9	217-617-8	Atrazina	
(4)	71-43-2	200-753-7	Benceno	
(5)	No aplicable	No aplicable	Difeniléteres bromados	X
(6)	7440-43-9	231-152-8	Cadmio y sus compuestos	X
(7)	85535-84-8	287-476-5	Cloroalcanos,C10-15	X
(8)	470-90-6	207-432-0	Clorfenvinfos	
(9)	2921-88-2	220-864-4	Clorpirifós(Clorpirifós-etilo)	
(10)	107-06-2	203-458-1	1,2-Dicloroetano	
(11)	75-09-2	200-838-9	Diclorometano	
(12)	117-81-7	204-211-0	Ftalato de di(2-etilhexilo)(DEHP)	X
(13)	330-54-1	206-354-4	Diurón	
(14)	115-29-7	204-079-4	Endosulfán	X
(15)	206-44-0	205-912-4	Fluoranteno	
(16)	118-74-1	204-273-9	Hexaclorobenceno	X

Número	Nº CAS ^a	Nº UE ^b	Sustancia prioritaria	Sustancia peligrosa
(17)	87-68-3	201-765-5	Hexaclorobutadieno	X
(18)	608-73-1	210-168-9	Hexaclociclohexano	X
(19)	34123-59-6	251-835-4	Isoproturón	
(20)	7439-92-1	231-100-4	Plomo y sus compuestos	
(21)	7439-97-6	231-106-7	Mercurio y sus compuestos	X
(22)	91-20-3	202-049-5	Naftaleno	
(23)	7440-02-0	231-111-4	Níquel y sus compuestos	
(24)	No aplicable	No aplicable	Nonilfenoles	X
(25)	No aplicable	No aplicable	Octilfenoles	
(26)	608-93-5	210-172-0	Pentaclorobenceno	X
(27)	87-86-5	201-778-6	Pentaclorofenol	
(28)	No aplicable	No aplicable	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	X
(29)	122-34-9	204-535-2	Simazina	
(30)	No aplicable	No aplicable	Compuestos de tributilestaño	X
(31)	12002-48-1	234-413-4	Triclorobencenos	
(32)	200-663-8	200-663-8	Triclorometano (cloroformo)	X
(33)	216-428-8	216-428-8	Trifluralina	X
(34)	204-082-0	204-082-0	Dicofol	X
(35)	217-179-8	217-179-8	Ácido perfluoro-octano-sulfónico y sus derivados (PFOS)	X
(36)	No aplicable	No aplicable	Quinoxifeno	X
(37)	No aplicable	No aplicable	Dioxinas y compuestos similares	
(38)	277-704-1	277-704-1	Aclonifeno	
(39)	255-894-7	255-894-7	Bifenox	
(40)	248-872-3	248-872-3	Cibutrina	
(41)	257-842-9	257-842-9	Cipermetrina	
(42)	200-547-7	200-547-7	Diclorvós	
(43)	No aplicable	No aplicable	Hexabromociclododecanos (HBCDD)	X
(44)	200-962-3/213-831-0	200-962-3/213-831-0	Heptacloro y epóxido de heptacloro	X
(45)	212-950-5	212-950-5	Terbutrina	

^aServicio de resúmenes químicos (Chemical Abstracts Service). ^bNúmero del registro del Catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas.

En su Anexo II se recogen las Normas de Calidad Ambiental para las sustancias prioritarias y algunos otros contaminantes que se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Normas de Calidad Ambiental para sustancias prioritarias incluidas en la Directiva 2013/39/UE.

Nº	Nombre	Nº CAS ^a	NCA-MA ^b Aguas superficiales Continetales	NCA-MA ^b Otras aguas superficiales	NCA-CMA ^c Aguas superficiales continentales	NCA-CMA ^c Otras aguas superficiales	NCA Biota ^d
(1)	Alacloro	15972-60-8	0,3	0,3	0,7	0,7	
(2)	Antraceno	120-12-7	0,1	0,1	0,1	0,1	
(3)	Atrazina	1912-24-9	0,6	0,6	2,0	2,0	
(4)	Benceno	71-43-2	10	8	50	50	
(5)	Difeniléteres bromados	32534-81-9			0,14	0,014	0,0085
(6)	Cadmio y sus compuestos (en función de las clases de dureza del agua)	7440-43-9	≤ 0,08 (Clase 1) 0,08 (Clase 2) 0,09 (Clase 3) 0,15 (Clase 4) 0,25 (Clase 5)	0,2	≤ 0,45 (Clase 1) 0,45 (Clase 2) 0,6 (Clase 3) 0,9 (Clase 4) 1,5 (Clase 5)	≤ 0,45 (Clase 1) 0,45 (Clase 2) 0,6 (Clase 3) 0,9 (Clase 4) 1,5 (Clase 5)	
(6 bis)	Tetracloruro de carbono	56-23-5	12	12	No aplica	No aplica	
(7)	Cloroalcanos C10-13	85535-84-8	0,4	0,4	1,4	1,4	
(8)	Clorfenvinfós	470-90-6	0,1	0,1	0,3	0,3	
(9)	Clorpirifós (Clorpirifós-etilo)	2921-88-2	0,03	0,03	0,1	0,1	
(9 bis)	Plaguicidas de tipo ciclodieno: Aldrina Dieldrina	309-00-2 60-57-1 72-20-8	Σ= 0,01	Σ=0,005	No aplica	No aplica	

Nº	Nombre	Nº CAS ^a	NCA-MA ^b Aguas superficiales Continenciales	NCA-MA ^b Otras aguas superficiales	NCA-CMA ^c Aguas superficiales continentales	NCA-CMA ^c Otras aguas superficiales	NCA Biota ^d
	Endrina Isodrina	465-73-6					
(9 ter)	DDT total	No aplica	0,025	0,025	No aplica	No aplica	
	p, p'-DDT (7)	50-29-3	0,01	0,01	No aplica	No aplica	
(10)	1,2-Dicloroetano	107-06-2	10	10	No aplica	No aplica	
(11)	Diclorometano	75-09-2	20	20	No aplica	No aplica	
(12)	Ftalato de di(2-etilhexilo) (DEHP)	117-81-7	1,3	1,3	No aplica	No aplica	
(13)	Diurón	330-54-1	0,2	0,2	1,8	1,8	
(14)	Endosulfán	115-29-7	0,005	0,0005	0,01	0,004	
(15)	Fluoranteno	206-44-0	0,0063	0,0063	0,12	0,12	30
(16)	Hexaclorobenceno	116-74-1			0,05	0,05	10
(17)	Hexaclorobuta- dieno	87-68-3			0,6	0,6	55
(18)	Hexaclorociclo-hexano	608-73-1	0,02	0,002	0,04	0,02	
(19)	Isoproturón	34123-59-6	0,3	0,3	1,0	1,0	
(20)	Plomo y sus compuestos	7439-92-1	1,2(13)	1,3	14	14	
(21)	Mercurio y sus compuestos	7439-97-6			0,07	0,07	20
(22)	Naftaleno	91-20-3	2	2	130	130	
(23)	Níquel y sus compuestos	7440-02-0	4(13)	8,6	34	34	
(24)	Nonifenoles (4-Nonifenol)	84852-15-3	0,3	0,3	2,0	2,0	
(25)	Octifenoles ((4-(1,1'3,3'-te- trametilbutil)-fenol	140-66-9	0,1	0,01	No aplica	No aplica	

Introducción y Antecedentes

Nº	Nombre	Nº CAS ^a	NCA-MA ^b Aguas superficiales Continenciales	NCA-MA ^b Otras aguas superficiales	NCA-CMA ^c Aguas superficiales continentales	NCA-CMA ^c Otras aguas superficiales	NCA Biota ^d
(26)	Pentacloroben-ceno	608-93-5	0,007	0,0007	No aplica	No aplica	
(27)	Pentaclorofenol	87-86-5	0,4	0,4	1	1	
(28)	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (11)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Benzo(a)pireno	50-32-8	1,7 x 10-4	1,7 x 10-4	0,27	0,027	5
	Benzo(b) fluoranteno	205-99-2	(^e)	(^e)	0,017	0,017	^e
	Benzo(k) fluoranteno	207-08-9	(^e)	(^e)	0,017	0,017	^e
	Benzo(g,h,i) perileno	191-24-2	(^e)	(^e)	8,2 x 10-3	8,2 x 10-4	^e
	Indeno (1,2,3-cd)pireno	193-39-5	(^e)	(^e)	No aplica	No aplica	^e
(29)	Simazina	122-34-9	1	1	4	4	
(29 bis)	Tetracloroetileno	127-18-4	10	10	No aplica	No aplica	
(29 ter)	Tricloroetileno	79-01-6	10	10	No aplica	No aplica	
(30)	Compuestos de tributilestaño (Cation de tributilestaño)	36643-28-4	0,0002	0,0002	0,0015	0,0015	
(31)	Triclorobencenos	12002-48-1	0,4	0,4	No aplica	No aplica	
(32)	Triclorometano	67-66-3	2,5	2,5	No aplica	No aplica	
(33)	Trifluralina	1582-09-8	0,03	0,03	No aplica	No aplica	
(34)	Dicofol	115-32-2	1,3 x 10-3	3,2 x 10-5	No aplica	No aplica	33
(35)	Ácido perfluorooctano- sulfónico y sus derivados	1763-23-1	6,5 x 10-4	1,3 x 10-4	36	7,2	9,1

N°	Nombre	N° CAS ^a	NCA-MA ^b Aguas superficiales Continenciales	NCA-MA ^b Otras aguas superficiales	NCA-CMA ^c Aguas superficiales continentales	NCA-CMA ^c Otras aguas superficiales	NCA Biota ^d
	(PFOS)						
(36)	Quinoxifeno	124495-18-7	0,15	0,015	2,7	0,54	
(37)	Dioxinas y compuestos similares				No aplica	No aplica	Suma de PCDD +PCDF +PCB-DL 0,0065 µg.kg - 1 TEQ
(38)	Aclonifeno	74070-46-5	0,12	0,012	0,12	0,012	
(39)	Bifenox	42576-02-3	0,012	0,0012	0,04	0,004	
(40)	Cibutrina	28159-98-0	0,0025	0,0025	0,016	0,016	
(41)	Cipermetrina	52315-07-8	8 x 10 ⁻⁵	8 x 10 ⁻⁶	6 x 10 ⁻⁴	6 x 10 ⁻⁵	
(42)	Diclorvós	62—73-7	6 x 10 ⁻⁴	6 x 10 ⁻⁵	7x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	
(43)	Hexabromoci- Clododecano (HBCDD)		0,0016	0,0008	0,5	0,005	167
(44)	Heptacloro y epóxido de heptacloro	76-44- 8/1024-57-3	2 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁸	3 x 10 ⁻⁴	3 x 10 ⁻⁵	6,7 x 10 ⁻³
(45)	Terbutrina	886-50-0	0,065	0,0065	0,34	0,034	

^aServicio de resúmenes químicos (Chemical Abstracts Service). ^bNCA, norma de calidad ambiental expresada como valor medio anual (µg/l). ^c NCA, norma de calidad ambiental expresada como concentración máxima admisible (µg/l). ^dLa biota se refiere a los peces (µg/Kg). ^eSe refieren a la concentración de benzo(a)pireno.

Entre los distintos contaminantes emergentes que nos podemos encontrar en las aguas residuales podemos considerar:

- los retardantes de llama bromados
- los cloroalcanos
- los pesticidas y plaguicidas
- los compuestos perfluorados
- Surfactantes, también denominados tensoactivos
- Productos de tratamiento de aguas
- Aditivos industriales y subproductos
- Aditivos alimentarios
- Productos de higiene personal
- Nanopartículas
- los fármacos, donde englobamos: principios activos, drogas de abuso, hormonas y esteroides. Incluidos los de uso humano y veterinario
- los metabolitos y/o productos de degradación de las clases de sustancias anteriores

1.2.4. Fármacos

La Directiva 2013/39/UE establece disposiciones específicas para sustancias farmacéuticas. La Comisión desarrollará, en la medida de lo posible, en el plazo de dos años a partir del 13 de septiembre de 2013 un enfoque estratégico para la contaminación del agua por sustancias farmacéuticas. Ese enfoque estratégico incluirá eventualmente propuestas a fin de que, en la medida de lo necesario, los impactos medioambientales de los medicamentos sean tenidos más eficazmente en cuenta en el procedimiento de comercialización de estos.

En el marco de este enfoque estratégico, la Comisión, antes del 14 de septiembre de 2017 propondrá medidas a escala de la Unión y/o de los Estados miembros, según corresponda, para tratar las posibles consecuencias medioambientales de sustancias farmacéuticas, para reducir sus descargas, emisiones y pérdidas en el medio acuático

teniendo en cuenta necesidades de salud pública y la relación coste/eficacia de las medidas propuestas.⁵

Los productos farmacéuticos son utilizados en grandes cantidades, sin embargo el estudio del comportamiento de estas sustancias dentro del ciclo del agua, su impacto en el medio ambiente y su posible incidencia sobre la salud de las personas no se ha desarrollado como se debería.

La característica de estos contaminantes es que no necesitan persistir en el ambiente para causar efectos negativos ya que su transformación puede verse compensada por su introducción continuada en el medio ambiente, ya que son productos de uso común.

Los fármacos llegan al medio ambiente como consecuencia de su fabricación, distribución, consumo y vertidos incontrolados de medicamentos caducados. El foco principal se encuentra en el agua, apareciendo ya estas sustancias tanto en aguas superficiales como subterráneas.

Los fármacos se incorporan a través de las excreciones humanas y animales, biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, vertidos de aguas tratadas, desechos industriales así como de los residuos de la atención sanitaria y veterinaria.

Estos residuos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes vías, tal como vimos en la Figura 1, de manera que podemos encontrar los fármacos en distintas matrices, en las aguas, en los suelos, en los biosólidos procedentes de los tratamientos de las aguas residuales. Todo dependerá de las características físico-químicas de los fármacos.

Dentro de los fármacos también se incluyen las **drogas**. Entran a la red de aguas residuales como drogas inalteradas y/o sus metabolitos activos por excreción humana.

Las **hormonas y esteroides**. Se encuentran en las aguas residuales, procedentes de las excreciones humanas.

Igualmente existen hormonas sintéticas de amplio uso, entre las que se incluyen las píldoras anticonceptivas. Se introducen al medio ambiente a través de los efluentes de aguas residuales de las plantas de tratamiento, donde no son eliminadas completamente.

El rendimiento de eliminación de los fármacos en las aguas residuales está condicionado a dos factores: por un lado a los procesos y tecnologías que se empleen en

⁵ Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea, **2013**, L226/10.

los tratamientos de las aguas residuales y, por otra parte, de las características físico-químicas de estos compuestos. En el caso de los fármacos y de las drogas, al ser compuestos no biodegradables o en su caso con una biodegradabilidad muy baja, de forma general podemos decir que los procesos convencionales que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento de aguas residuales (procesos biológicos de eliminación de materia orgánica y nutrientes, así como procesos físico-químicos para el acondicionamiento de los efluentes) no son efectivos a la hora de reducir la presencia de estos contaminantes, por lo que se requieren procesos más avanzados como las técnicas de oxidación, osmosis, procesos fotocatalíticos u otros. Como consecuencia de esto los fármacos se incorporan de nuevo al ciclo del agua.⁶

⁶ Documentación interna Acciona Agua.

OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Máster se engloba dentro del proyecto de Doctorado “Caracterización y Cuantificación de Contaminantes Emergentes y sus Rendimientos de Eliminación en las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”.

El Trabajo Fin de Máster tratará de sentar las bases y llevar a cabo la planificación necesaria para la consecución de los resultados para el proyecto de Doctorado. Por este motivo los objetivos que se plantean en este trabajo son los siguientes:

- Definir los contaminantes emergentes que serán objeto de estudio
- Definir la planta de tratamiento de aguas residuales donde se llevará a cabo el estudio
- Descripción de las instalaciones y de los procesos de depuración para poder establecer relaciones con los rendimientos de eliminación de los contaminantes emergentes
- Parámetros físico-químicos de las aguas residuales que se analizarán
- Elección del método analítico para la determinación de los contaminantes emergentes
- Procedimiento de toma de muestra y monitorización de las aguas residuales
- Solicitud de los permisos necesarios

ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN

3.1. CONTAMINANTES EMERGENTES OBJETO DE ESTUDIO

El trabajo fin de master tratará de sentar las bases y llevar a cabo la planificación necesaria para la consecución de los resultados para el proyecto de Doctorado (Caracterización y Cuantificación de Contaminantes Emergentes y sus Rendimientos de Eliminación en las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales), por lo que un primer punto es definir los contaminantes emergentes que serán objeto de estudio. El Trabajo Fin de Máster se ha centrado en la evaluación de los principales fármacos, en las áreas de influencia de la cuenca del Caudal, considerando el área sanitaria que quedaría englobada dentro del área de vertido (Área VII). De manera que los fármacos que se considerarán en el estudio se han determinado basándose en los datos de envases facturados de fármacos en el Principado de Asturias durante el año 2013.

3.1.1. Áreas sanitarias en el Principado de Asturias

En la actualidad los hospitales que quedan englobados dentro del SESPA (Servicio de Sanidad del Principado de Asturias), se distribuyen en las siguientes áreas:

- Area I: Hospital de Jarrio
- Area II: Hospital de Cangas de Narcea
- Area III: Hospital de San Agustín y Hospital de la Caridad
- Area IV: Huca, Hospital Monte Naranco, Hospital Cruz Roja
- Area V: Hospital Cabueñes, Hospital Cruz Roja Gijón, Hospital Jove
- Area VI: Hospital de Arriondas
- Area VII: Hospital de Mieres (**objeto del estudio**)
- Area VIII: Hospital Adaro, Hospital de Riaño

En la Figura 2 se recogen las distintas áreas hospitalarias y su distribución en la geografía del Principado de Asturias.

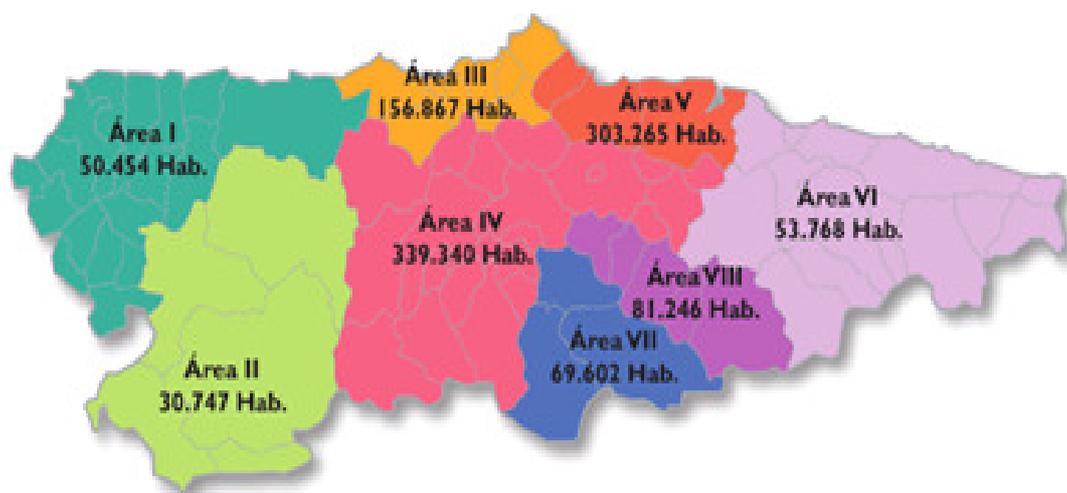


Figura 2. Áreas Hospitalarias Principado de Asturias.

3.1.2. Estadística servicio sanitario del Principado de Asturias

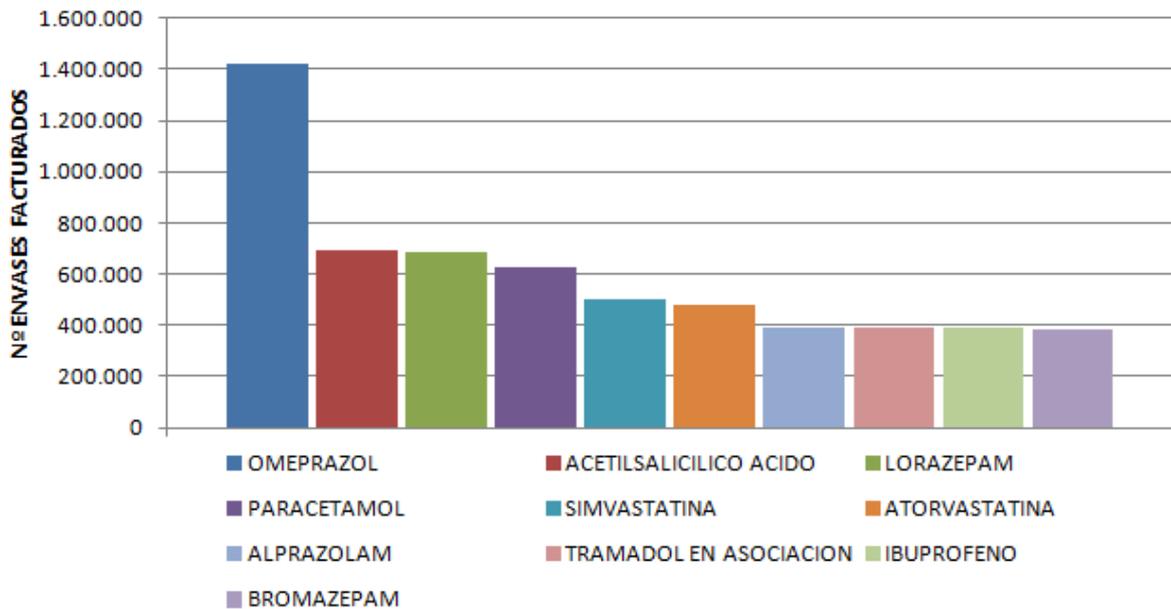
De los datos que se han recogido, los fármacos que más se han vendido durante el año 2013 en Asturias se recogen en la Tabla 3.

Tabla 3. Envases facturados por áreas sanitarias.⁷

Principio Activo	Total Asturias	Área I	Área II	Área III	Área IV	Área V	Área VI	Área VII	Área VIII
Omeprazol	1.423.024	72.166	51.564	192.541	421.892	370.470	80.868	110.873	122.650
Ácido Acetilsalicílico	690.605	42.361	24.680	88.173	202.394	190.265	43.842	48.083	50.807
Lorazepam	688.626	32.309	15.863	85.807	184.778	224.964	34.537	53.326	57.042
Paracetamol	630.277	29.881	15.168	101.040	180.983	173.723	31.339	42.390	55.753
Simvastatina	501.480	42.988	24.081	82.648	102.756	143.943	34.501	38.890	31.673
Atorvastina	476.765	36.062	16.159	69.143	160.557	93.113	20.041	44.307	37.383
Alprazolam	392.833	17.282	12.463	68.537	99.948	93.866	25.902	43.232	31.603
Tramadol en Asociación	389.398	20.737	10.053	51.939	108.788	103.443	26.250	27.849	40.339
Ibuprofeno	388.990	20.086	11.630	55.815	111.685	106.888	18.928	30.034	33.924
Bromazepam	380.367	15.119	8.254	52.088	130.059	94.992	22.987	28.695	28.173

⁷ Fuente Servicio Salud del Principado de Asturias. <http://www.obsaludasturias.com/obsa/>. Visita 04/11/2014

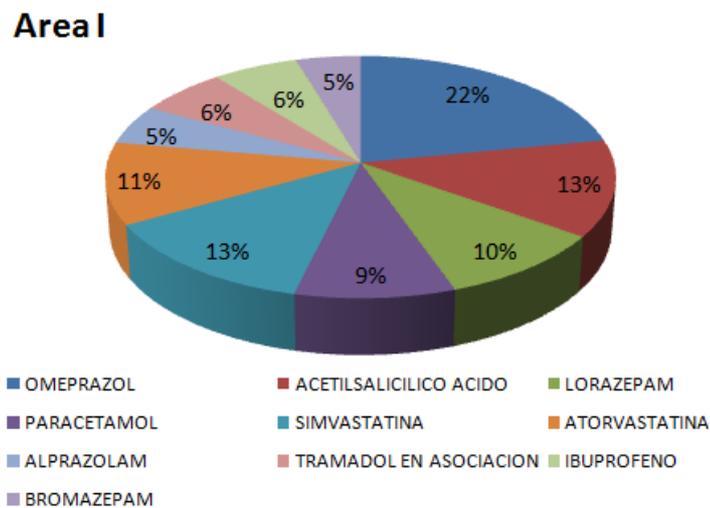
La distribución de los principios activos que más se han facturado se recoge en la Gráfica 1:



Gráfica 1. Principios activos más vendidos. Envases facturados en Asturias Año 2013.

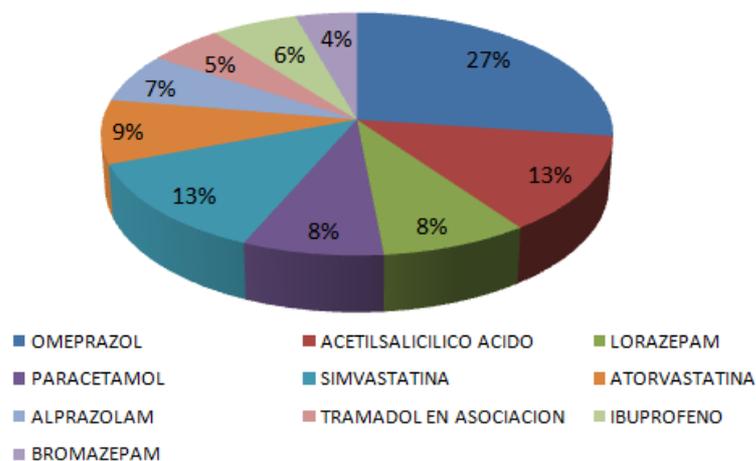
De la gráfica se observa que el principio activo más vendido con diferencia es el omeprazol seguido del ácido acetilsalicílico, lorazepan y paracetamol.

Si consideramos la distribución de los principios activos por áreas sanitarias, los datos se recogen en las siguientes gráficas:



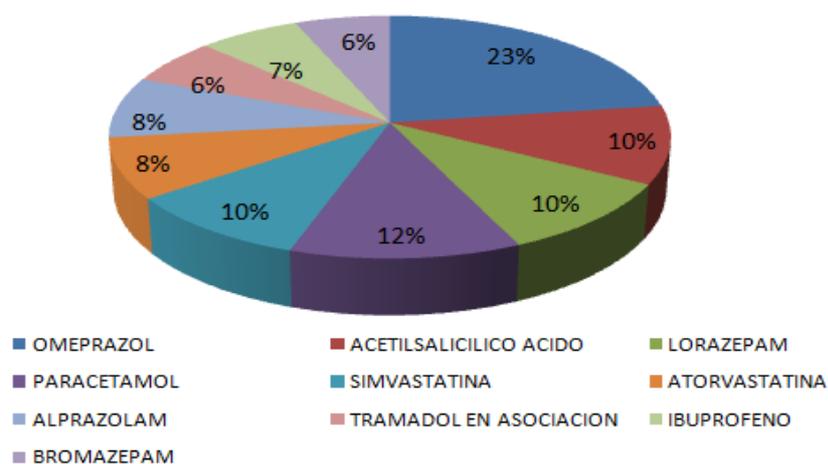
Gráfica 2. Principios activos más vendidos. Área I.

Area II



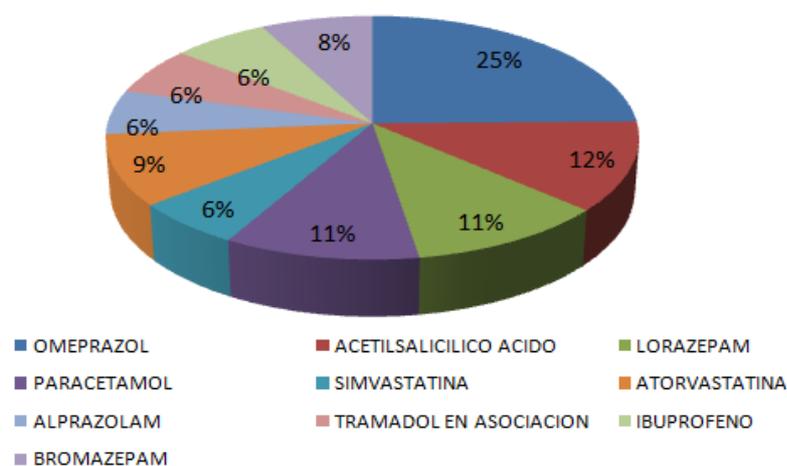
Gráfica 3. Principios activos más vendidos. Área II.

Area III



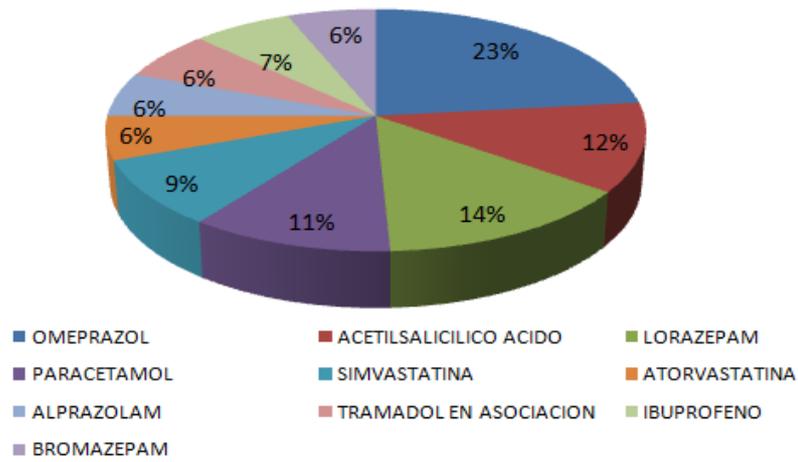
Gráfica 4. Principios activos más vendidos. Área III.

Area IV



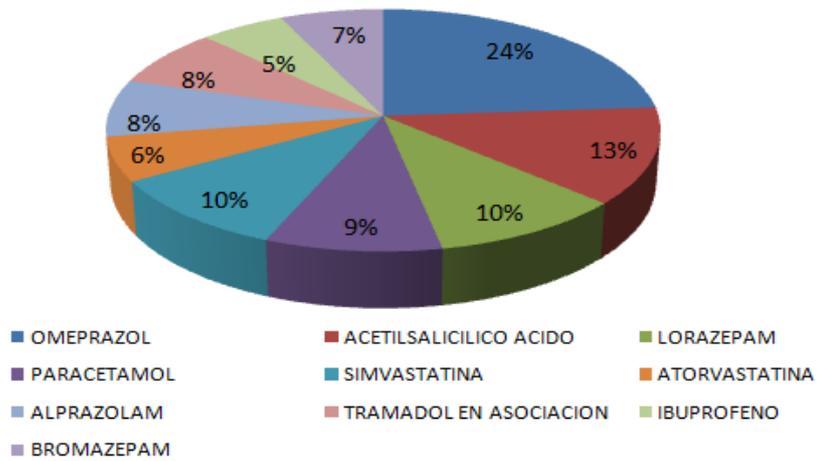
Gráfica 5. Principios activos más vendidos. Área IV.

Area V



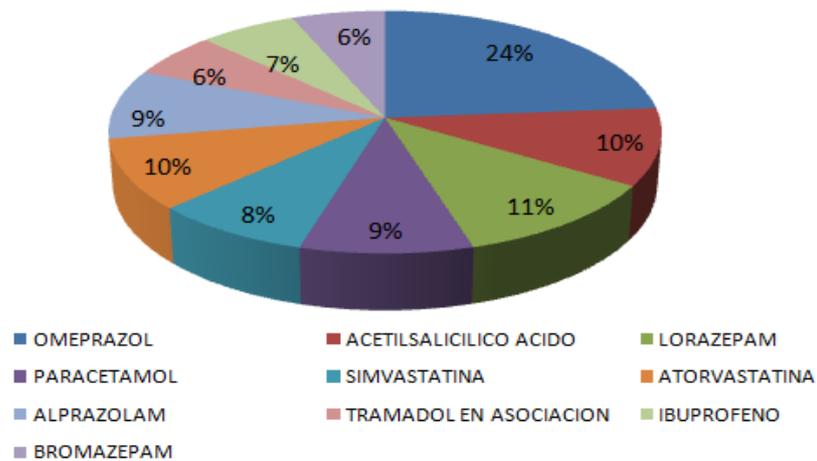
Gráfica 6. Principios activos más vendidos. Área V.

Area VI



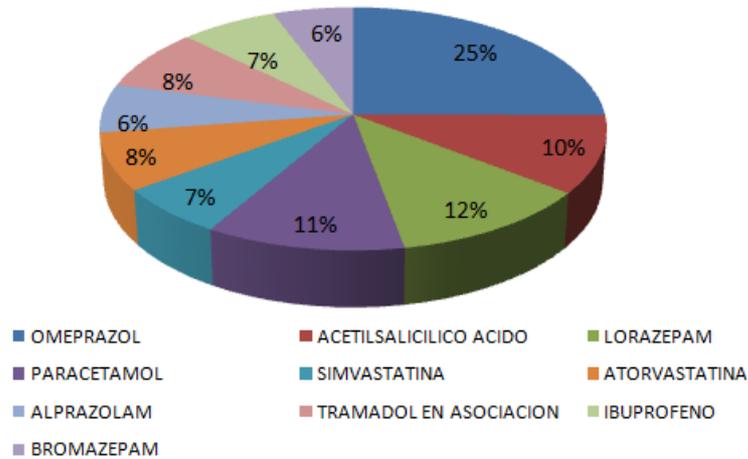
Gráfica 7. Principios activos más vendidos. Área VI.

Area VII



Gráfica 8. Principios activos más vendidos. Área VII.

Area VIII

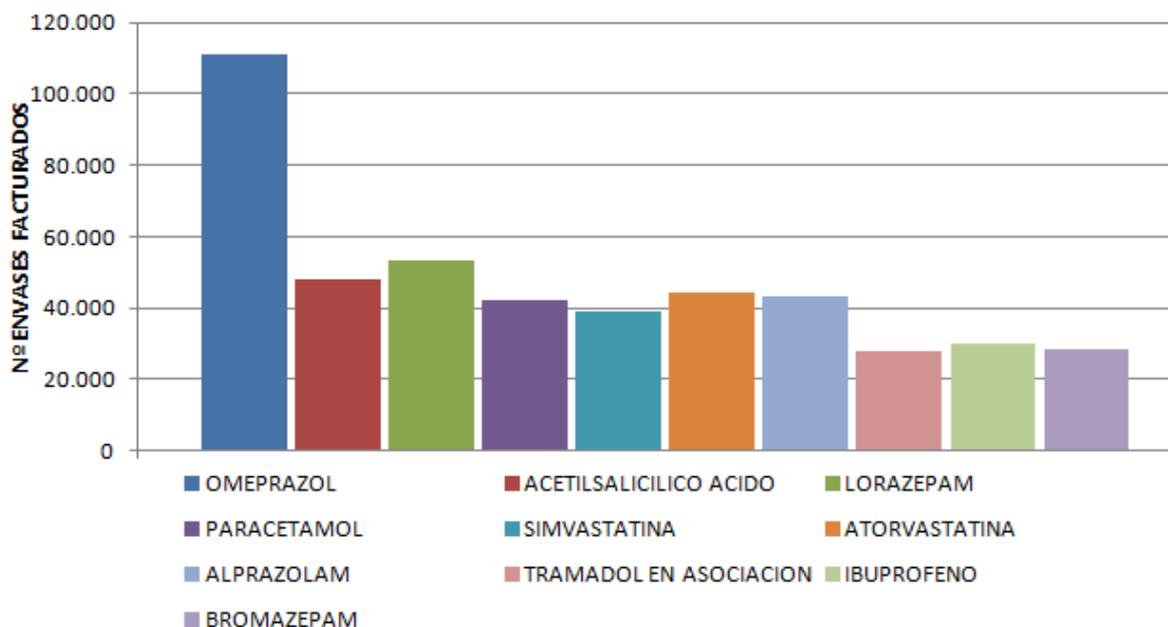


Gráfica 9. Principios activos más vendidos. Área VIII.

Basándose en los datos recogidos se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Las áreas IV y V son las áreas de más venta de los distintos principios activos, lo cual tiene su lógica ya que estas áreas se corresponden con las zonas de mayor población. Estas áreas se corresponden con las ciudades de Oviedo y Gijón.
- En un segundo escalón podemos ver que las ventas se localizan en el área III, correspondiente al área de influencia de Avilés.
- Por tanto se puede observar que la distribución de ventas de fármacos guarda una estrecha relación con las principales áreas de población, donde es lógico que los consumos sean más elevados.
- Comparando los datos del área VII, donde queda englobada la cuenca del río Caudal objeto del estudio, con el área VIII que se correspondería con la cuenca del río Nalón, se observa que el consumo de simvastatina, atorvastatina y alprazolam son superiores en nuestra área de estudio, a pesar de que la población es superior en el área VIII (81.246 frente a 69.602 habitantes).

Centrándose en el área de estudio del proyecto, que se corresponde con el área VII, la Gráfica 10 recoge la distribución de los principios activos.



Gráfica 10. Principios activos más vendidos. Distribución área sanitaria VII.

3.1.3. Fármacos seleccionados

En base a lo anteriormente expuesto, datos de consumo del año 2013, el estudio de caracterización y análisis que se llevará a cabo en la parte experimental dentro del proyecto de Doctorado “Caracterización y Cuantificación de Contaminantes Emergentes y sus Rendimientos de Eliminación en las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” se va a centrar en los siguientes principios activos:

- Omeprazol
- Ácido Acetilsalicílico
- Lorazepam
- Paracetamol
- Simvastatina
- Atorvastina
- Alprazolam
- Tramadol en Asociación
- Ibuprofeno
- Bromazepam

Los principios activos seleccionados se pueden agrupar en las siguientes familias:

- **Ansiolíticos:** donde quedarían englobados el alprazolam, lorazepam y bromazepam
- **Hipolipemiantes:** donde quedarían englobados la simvastatina y la atorvastatina
- **Antiulcerosos:** donde quedaría englobado el omeprazol
- **Antiinflamatorios:** donde quedaría englobado el ácido acetilsalicílico y el ibuprofeno (dentro de los antiinflamatorios no esteroides)
- **Analgésicos:** donde quedarían englobados el paracetamol (dentro del grupo de los analgésicos no opioides) y el tramadol en asociación (dentro del grupo de los analgésicos opioides)

Analizando la situación en Asturias con los consumos a nivel nacional, se observa lo siguiente:

Ansiolíticos⁸

Durante años, los ansiolíticos e hipnóticos han sido uno de los grupos farmacológicos más prescritos en la mayoría de países desarrollados. Análisis más recientes sugieren que España estaría situada por encima de la media europea en consumo de ansiolíticos.

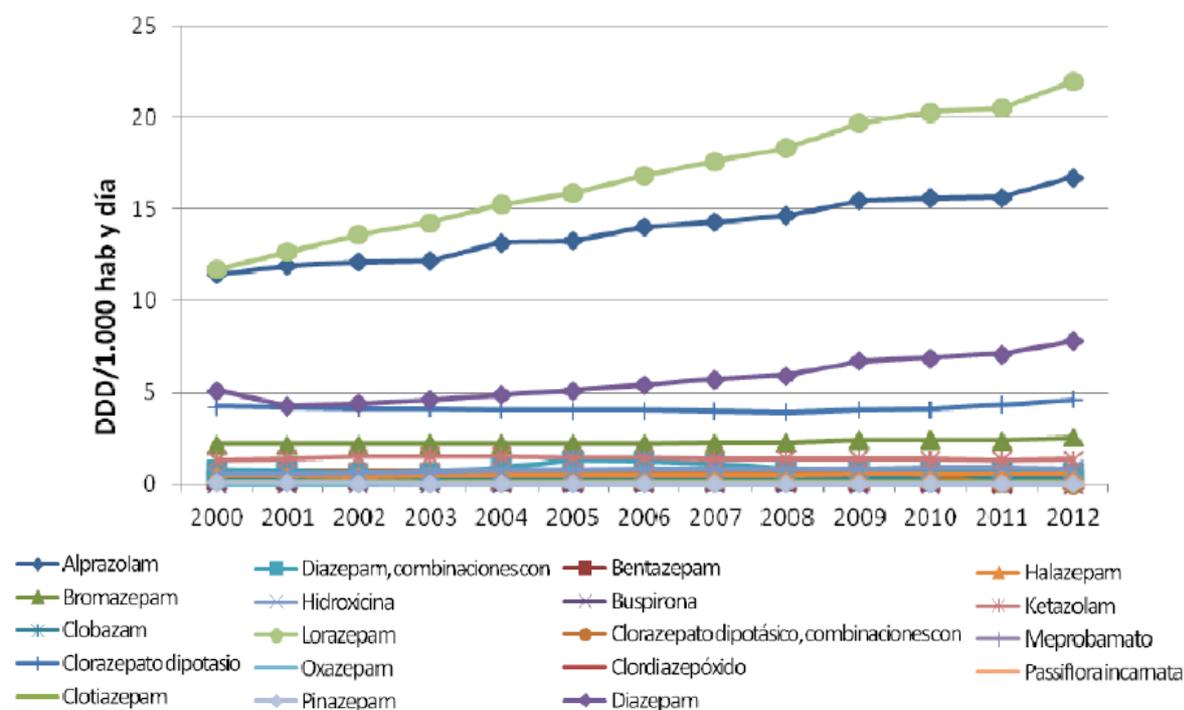


Figura 3. Consumo de ansiolíticos en España.

⁸ Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de medicamentos U/HAY/V1/17012014. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014.

Entre los ansiolíticos más consumidos en Asturias estaban el lorazepam, bromazepan y alprazolam. Los datos en Asturias coinciden con la media en España donde el lorazepam es el ansiolítico más consumido seguido del alprazolam y con un consumo menor el bromazepan. Recordemos que los datos de la estadística en Asturias corresponden a datos del año 2013 mientras que la estadística de la agencia del medicamento es hasta el año 2012. A la fecha de la realización de este proyecto no existen datos de la agencia del medicamento para el año 2013.

Hipolipemiantes⁹

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2008 las enfermedades cardiovasculares fueron la primera causa de muerte precoz en España (33%) y en el mundo (48%) y se espera un progresivo incremento de su incidencia durante las próximas décadas debido al incremento de las tasas de obesidad y diabetes.

La morbimortalidad cardiovascular se asocia con la obesidad y con otros factores de riesgo modificables, como el colesterol. Según la OMS, en 2008, la prevalencia global de niveles elevados de colesterol fue del 38%, superior al 50% en países desarrollados, y del 57,6% en España.

El consumo de hipolipemiantes en España ha pasado de 18,9 dosis habitante y día (DHD) en el año 2000 a 102,6 DHD en el año 2012, lo que supone un incremento del 442%. Las estatinas son los fármacos más utilizados, experimentado un incremento de 76,9 DHD entre 2000 y 2012 y representando un 89,3% del consumo de hipolipemiantes en 2012.

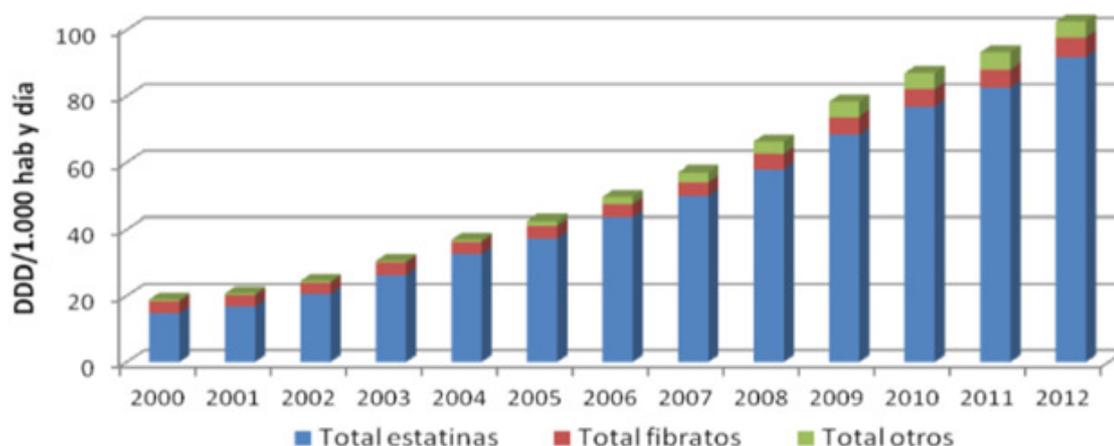


Figura 4. Consumo de hipolipemiantes en España.

⁹ Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de medicamentos U/HLP/V1/17012014. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014

El fármaco más utilizado durante todo el periodo de estudio fue atorvastatina, que ha pasado de 3,8 DHD en 2000 a 42,8 DHD en 2012 (incremento de 1012%). También hay que destacar la simvastatina como segunda estatina más consumida a lo largo de este periodo, con 3,4 DHD en 2000 y 29,6 DHD en 2012. La suma de atorvastatina y simvastatina representaron en 2012 el 78,2% del consumo del total de estatinas.

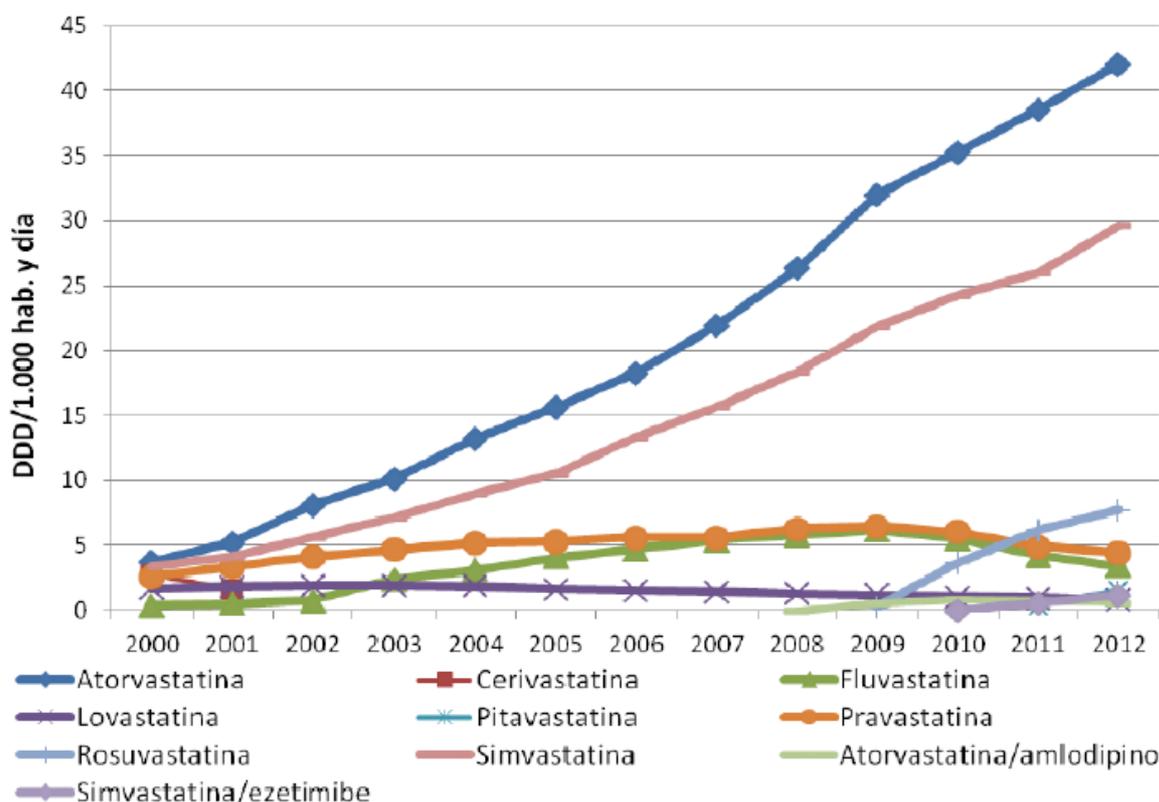


Figura 5. Consumo de estatinas en España.

Entre los hipolipemiantes más consumidos en Asturias dentro del grupo de las estatinas estaban la simvastatina y la atorvastatina. En España las estatinas más consumidas han sido en primer lugar la atorvastatina, seguida de la simvastatina. En este caso los consumos en Asturias no coinciden con el consumo medio en España.

Antiulcerosos¹⁰

El tratamiento farmacológico de las enfermedades acidopépticas o la profilaxis de los trastornos digestivos relacionados con la secreción ácida en el estómago ha variado en las últimas décadas, del empleo de antiácidos o fármacos anticolinérgicos como pirenzepina en los años 80, al uso de antihistamínicos H2 (Anti-H2) o de inhibidores de la bomba de

¹⁰ Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de medicamentos U/AUL/V1/15012014. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014.

protones (IBP) que, desde los años noventa hasta la actualidad, han pasado a ser los antiulcerosos más utilizados.

Entre los IBP el más utilizado es omeprazol, con 18,1 DHD en 2000 y 104,0 DHD en 2012. En el año 2012 el omeprazol representó el 79,1% del consumo de los IBP y el 76,1% del consumo del total del grupo de antiulcerosos. El resto de IBP (esomeprazol, lansoprazol, pantoprazol y rabeprazol) también han aumentado en este periodo aunque en menor medida que el omeprazol en términos absolutos.

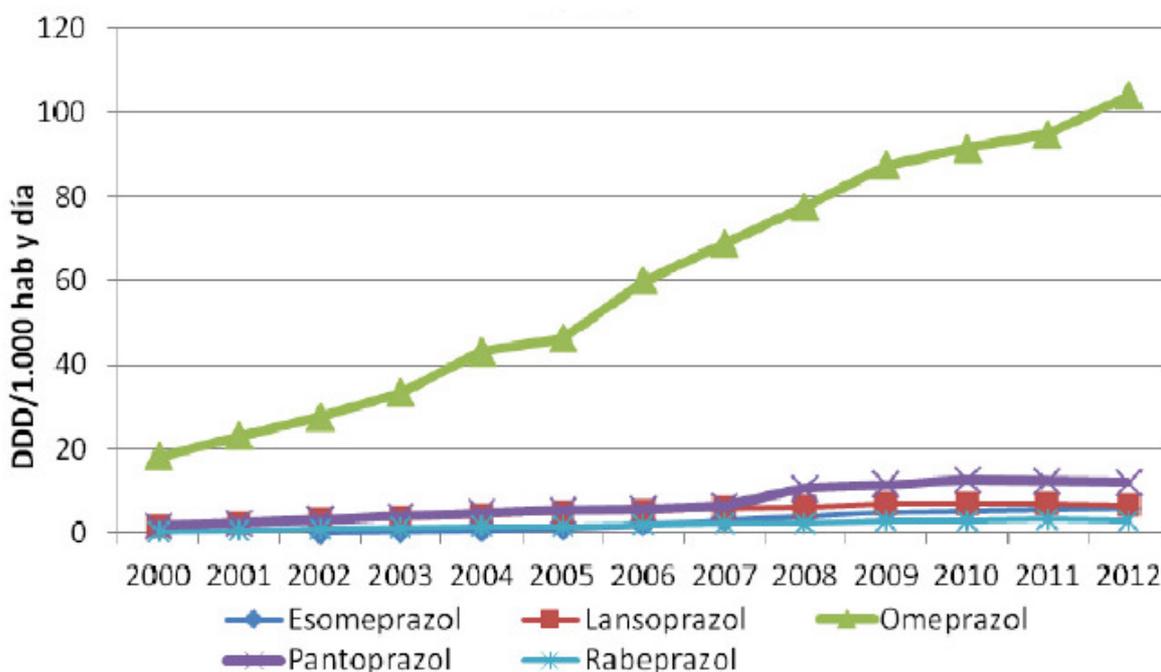


Figura 6. Consumo de inhibidores de la bomba de protones en España.

Entre los antiulcerosos más consumidos en Asturias estaba el omeprazol. Los datos en Asturias coinciden con la media en España donde el omeprazol es el antiulceroso más consumido con diferencia.

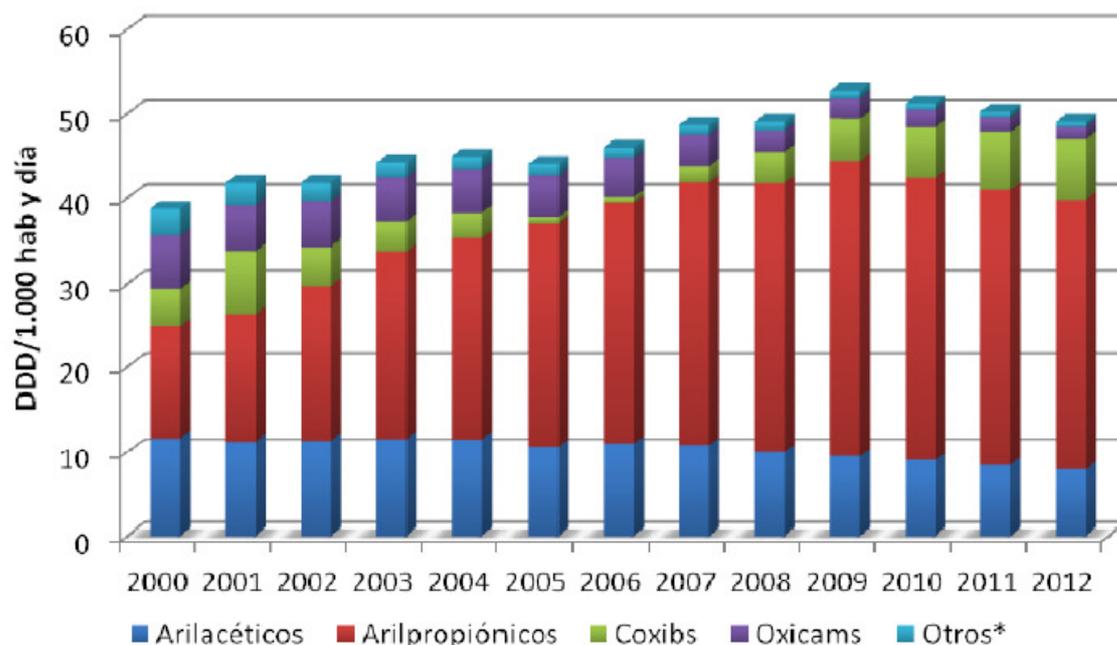
Antiinflamatorios no esteroideos¹¹

Los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) son un extenso grupo de fármacos con estructuras químicas muy distintas y no necesariamente relacionadas entre sí que poseen propiedades analgésicas, antipiréticas y antiinflamatorias. Dada la alta prevalencia de cuadros clínicos susceptibles de ser tratados con estos medicamentos, los AINEs son uno

¹¹ Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de medicamentos U/AIN/V1/15012014. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014.

de los grupos farmacológicos más utilizados en terapéutica, y que registra mayor consumo en España.

El consumo de AINE en España ha pasado de 38,7 DHD en el año 2000 a 49 DHD en el año 2012 lo que supone un incremento del 26,5%. No obstante, desde el año 2009 se observa una tendencia hacia la disminución del consumo total. En términos absolutos los derivados arilpropiónicos son los AINE más utilizados a lo largo de todo el periodo, representando el 65,1% del consumo de AINE en 2012.



*Otros incluye: fenamatos, indolacéticos, pirazolonas, salicilatos y el grupo "otros AINE"

Figura 7. Consumo de AINE en España.

Los derivados arilpropiónicos han sido el grupo de AINE más consumido, con 13,1 DHD en 2000 y 31,9 DHD en 2012 (incremento del 143,7%). El ibuprofeno fue el principio activo más utilizado en términos absolutos y su consumo aumentó de 6,2 DHD en 2000 a 26,5 DHD en 2009. Sin embargo a partir de ese año su consumo descendió hasta 21,5 DHD en 2012. No obstante, representa el 43,9% del consumo total de AINE en 2012.

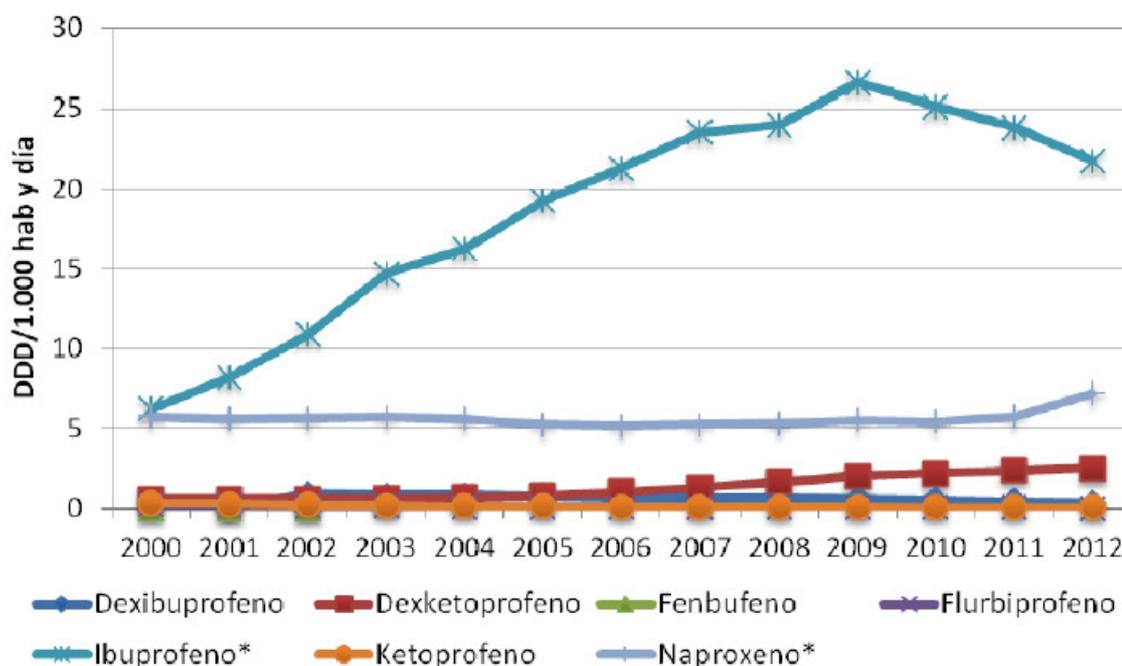


Figura 8. Consumo de arilpropiónicos en España.

En Asturias el consumo de ácido acetilsalicílico es superior al consumo del ibuprofeno, este último de consumo mayoritario en España.

Analgésicos no opioides¹²

Desde el punto de vista farmacológico, los analgésicos y antipiréticos comercializados en España se han venido clasificando tradicionalmente en: derivados del ácido acetilsalicílico (N02BA: ácido salicílico y derivados), pirazonas (N02BB: pirazonas), paracetamol y derivados (N02BE: anilidas) y otros analgésicos (N02BG otros analgésicos y antipiréticos).

De todos los analgésicos disponibles, unos pocos son los que suponen la mayor parte del consumo, en particular paracetamol y, en menor medida, metamizol.

Es necesario tener en cuenta que en los últimos años se ha producido un aumento importante en el consumo de antiinflamatorios no esteroideos, particularmente ibuprofeno, que se utilizan con las mismas indicaciones (analgésicos y antipiréticos) que el grupo que estamos estudiando. Del mismo modo también se considera el ácido acetil salicílico (AAS).

¹² Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de analgésico no opioides en España. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014.

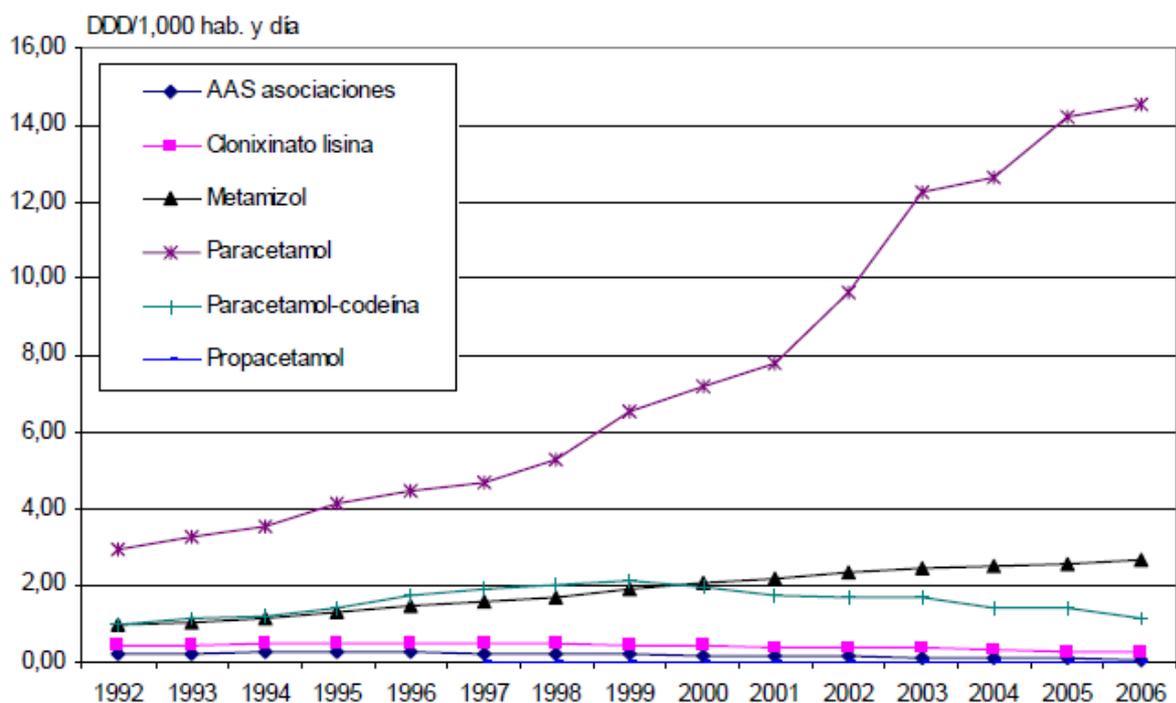


Figura 9. Consumo de analgésicos en España.

En Asturias como en España el mayor consumo corresponde al paracetamol.

Analgésicos opioides¹³

Durante el amplio periodo analizado, de 1992 a 2006, se ha producido en España un aumento considerable de la utilización de opioides. Este aumento lo es tanto para los opioides tomados en su conjunto, como para aquellos que necesitan receta de estupefacientes –fentanilo y morfina sobre todo-.

Otra característica que llama la atención es la creciente concentración en unos pocos principios activos. El uso de dos principios activos, el fentanilo y el tramadol, representó en el último año de la serie que se analiza, el año 2006, el 86% del total de los opioides en España.

¹³ Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Informe de utilización de analgésico opioides en España. <http://www.aemps.gob.es/>. Visitada el 25/11/2014.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Buprenorfina	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,14	0,24	0,31	0,38
Butorfanol	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dextropropoxifeno, CIH	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dextropropoxifeno, napsilato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Dihidrocodeina	0,10	0,12	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09	0,07	0,01	0,00	0,00
Fentanilo							0,02	0,11	0,23	0,34	0,47	0,58	0,70	0,87	1,06
Metadona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Morfina	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16
Oxicodona													0,00	0,02	0,03
Pentazocina	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Petidina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tilidina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Tramadol	0,00	0,05	0,10	0,21	0,30	0,44	0,58	0,83	1,05	1,24	1,45	1,66	1,83	1,91	2,01
Tramadol+paracetamol													0,13	0,44	0,74
TOTAL GENERAL	0,32	0,38	0,46	0,60	0,71	0,84	0,99	1,31	1,63	1,91	2,25	2,68	3,14	3,76	4,43

Figura 10. Evolución del uso de analgésicos opioides en España.

En Asturias como en España el mayor consumo corresponde al tramadol en asociación.

3.2. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE BAIÑA

El Consorcio de Aguas de Asturias, órgano dependiente de la Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, gestiona los siguientes sistemas de Saneamiento:

- Cuenca Minera del Nalón (E.D.A.R de Frieres) (1)
- Cuenca del Caudal (E.D.A.R de Baiña) (2)
- Nora y Noreña (E.D.A.R de Villapérez) (3)
- Cuenca del San Claudio (E.D.A.R de San Claudio) (4)
- Alto Nalón (E.D.A.R de Rioseco) (5)
- Colunga (E.D.A.R de Colunga) (6)
- Bajo Nalón (E.D.A.R de Soto del Barco) (7)
- Trubia (E.D.A.R de Trubia) (8)
- Litoral de Llanes (E.D.A.R de Llanes) (9)
- Cangas del Narcea (E.D.A.R de Cangas del Narcea) (10)
- Comarca de Avilés (E.D.A.R de Maqua) (11)
- Ribadesella (E.D.A.R de Ribadesella) (12)
- Sella y Piloña (E.D.A.R de Ricao) (13)
- Tineo (E.D.A.R de Tineo) (14)
- Ría de Villaviciosa (E.D.A.R de Villaviciosa) (15)
- Pola de Allande (E.D.A.R de Pola de Allande) (16)
- Olloniego (E.D.A.R de Olloniego) (17)
- Cudillero (E.D.A.R de Cudillero) (18)
- Luarca (E.D.A.R de Luarca) (19)
- Novellana (E.D.A.R. de Novellana) (20)
- Grado (E.D.A.R. de Grado) (21)
- Ribadedeva (E.D.A.R. de la Franca) (22)

En la Figura 11 se recogen los distintos sistemas y su distribución en la geografía del Principado de Asturias¹⁴

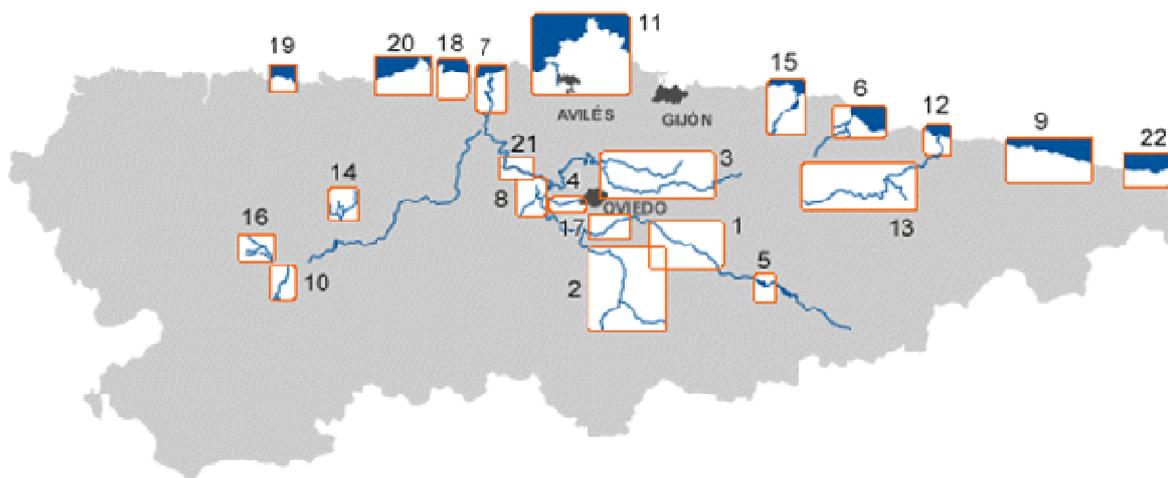


Figura 11. Sistemas de Saneamiento gestionados por el Consorcio de Aguas de Asturias.

La cuenca que se ha seleccionado para la identificación y análisis de los fármacos ha sido la Cuenca del Caudal de manera que el estudio se centrará en la planta de aguas residuales de Baiña (2 en el mapa de la Figura 11), donde se recogen todas las aguas residuales urbanas e industriales (incluyendo las hospitalarias) en la cuenca del Caudal. La planta de Baiña quedaría englobada dentro del área sanitaria VII.

3.2.1. Descripción de las instalaciones

Las características técnicas de la planta de Baiña se recogen en la siguiente ficha:

¹⁴ <http://www.consorcioaa.com/cmscaa/opencms> visitada el 25/11/2014.

E.D.A.R DE BAIÑA



UBICACIÓN:

La estación depuradora de aguas residuales de Baiña satisface las necesidades de Saneamiento y Depuración del agua bruta procedentes de las poblaciones de Mieres, Turón, Aller y Pola de Lena.

DESCRIPCIÓN:

Línea de agua

Tratamiento Primario

- Obra de llegada.
- By-pass general.
- Desbaste.
- Desarenado-desengrasado.
- Separador de arenas.
- Concentrador de grasas.
- Decantación primaria
- Bypass biológico

Tratamiento Secundario

- Reactor biológico: fangos activos de baja carga con proceso de nitrificación-desnitrificación.
- Recirculación del licor mezcla a cabecera.
- Decantación secundaria.

Línea de fangos

- Bombeo de fangos primarios al espesador
- Bombeo de fangos en exceso al flotador.
- Bombeo de fangos espesados a depósitos tampón.
- Bombeo de fangos a deshidratación.
- Acondicionamiento químico.
- Deshidratación de fangos mediante filtros prensa.
- Almacenamiento de fangos deshidratados.
- Secado térmico (fuera de servicio).

Elementos Auxiliares

- Red de vaciados.
- Red de agua potable.
- Red de agua servicios auxiliares.
- Línea de flotantes y sobrenadantes.
- Red de aire comprimido.
- Alumbrado exterior e interior.
- Desodorización vía química (fuera de servicio)
- Edificio de control y laboratorio.
- Edificio de pretratamiento.
- Edificio de soplantes.
- Salas de centro de control de motores.
- Edificio de deshidratación y secado térmico.
- Centros de transformación.
- Edificio de agua de servicios.
- Galería de servicios
- Edificio de recirculación.

La Tabla 4 recoge las distintas áreas de trabajo que se pueden agrupar en las siguientes zonas:

Tabla 4. Zonas de trabajo.

ZONAS DE TRABAJO	
ZONA 1	OBRA DE LLEGADA
ZONA 2.1	PRETRATAMIENTO: BY-PASS GENERAL
ZONA 2.2	PRETRATAMIENTO: DESBASTE SÓLIDOS
ZONA 2.3	PRETRATAMIENTO: DESARENADOR-DESENGRASADOR
ZONA 3	TRATAMIENTO PRIMARIO:DECANTACIÓN PRIMARIA
ZONA 4	BOMBEO ELEVACION A TRATAMIENTO BIOLÓGICO
ZONA 5	TRATAMIENTO BIOLÓGICO
ZONA 6	DECANTACIÓN SECUNDARIA
ZONA 7	EDIFICIO RECIRCULACIÓN
ZONA 8	ESPELAMIENTO FANGOS
ZONA 9	ALMACENAMIENTO FANGOS
ZONA 10	DESHIDRATACIÓN DE FANGOS
ZONA 11	EQUIPOS DE CONTROL Y MEDIDA
ZONA 12	SERVICIOS AUXILIARES

Los parámetros de proyecto de las distintas etapas se recogen en el Anexo I.

El Sistema de Saneamiento General de la Cuenca del Río Caudal, consta de 40.409 m. de tuberías de diferentes diámetros que comprenden los colectores interceptores generales de los ríos Caudal, Lena y Aller. Que cuenta con 24 sistemas de regulación de caudal (aliviaderos) y 15 estaciones de bombeo. La relación de instalaciones periféricas asociadas a la planta de Baiña se adjunta en la Tabla 5:

Tabla 5. Instalaciones periféricas.

ESTACIONES DE BOMBEO	Localización
Bombeo de Ablaña	Mieres
Bombeo Sueros	Mieres
Bombeo Gonzalín	Mieres
Bombeo Santullano	Mieres
Bombeo I-11 (La Veguina)	Turón
Bombeo I-13 (La Cuadriella)	Turón
Bombeo Santa Bárbara	Turón
Bombeo Viesgo	Viesgo
Bombeo Loredo	Loredo
Bombeo Baiña	Baiña
Bombeo Vega del Rey	Vega del Rey
Bombeo Vega del Ciego	Vega del Ciego

Aspectos a considerar en el proceso de planificación

ESTACIONES DE BOMBEO-ALIVIADERO	Localización
EBAR-Aliviadero Mercado de Ganado	Mieres
EBAR-Aliviadero Campomanes	Campomanes

ALIVIADEROS	Localización
Aliviadero Polg. industrial Fábrica de Mieres	Mieres
Aliviadero La Rebollada	La Rebollada
Aliviadero San Juan I	Mieres
Aliviadero San Juan II	Mieres
Aliviadero PIVA	Mieres
Aliviadero Santullano	Mieres
Aliviadero PRVA	Mieres
Aliviadero Ujo	Colominas de Ujo
Aliviadero Turón	Ujo
Aliviadero La Barraca	Pola de Lena
Aliviadero Villallana	Villallana
Aliviadero Taruelo	Mieres
Aliviadero Collanzo	Mieres
Aliviadero Santa Cruz	Mieres
Aliviadero Oriella	Oriella
Aliviadero Bustiello	Bustiello
Aliviadero Valdefarrucos	Valdefarrucos
Aliviadero Caborana	Caborana
Aliviadero Moreda	Moreda
Aliviadero Oyanco	Oyanco
Aliviadero Villanueva	Villanueva
Aliviadero Boo	Boo
Aliviadero Los Cuarteles	Mieres

GALERÍAS	Localización
Galería Ablaña	Ablaña
Galería La Peña	La Peña
Galería Piva	Vega de Arriba
Galería Santullano	Santullano
Galería Figaredo	Figaredo
Galería Colominas	Figaredo
Galería Sovilla	Sovilla
Galería Villallana	Pola de Lena
Galería Oriella (La Escombrera)	Oriella

OTRAS INSTALACIONES	Localización
Vórtice Rioglass	Mieres
Vórtice PR 105	La Pereda
Pozo Mieres	Mieres
Pozo Moreda Instituto	Aller

En la figura 12 se recoge el Plano Director de la Cuenca de Saneamiento del Caudal:

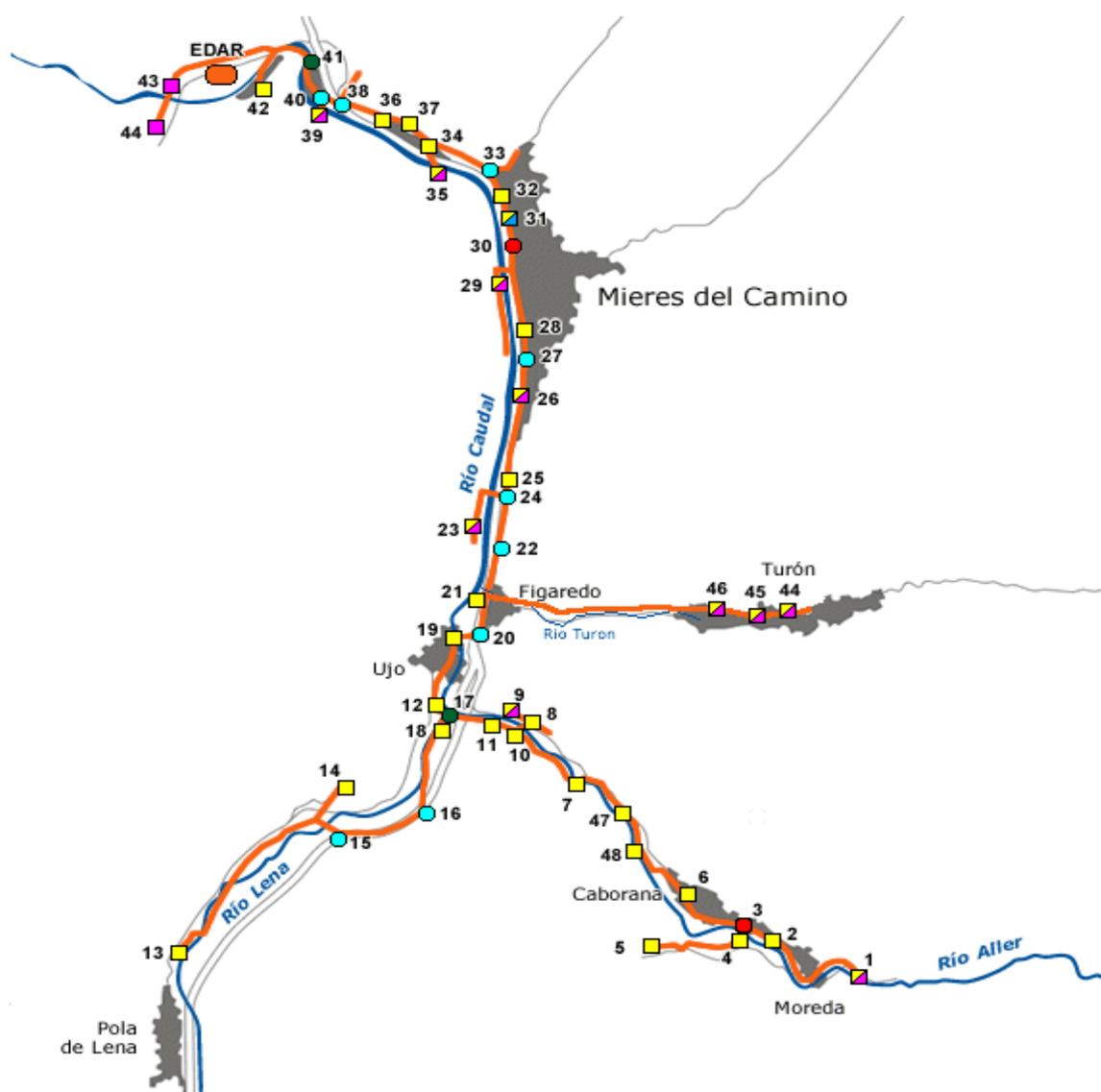


Figura 12. Plano Director de la Cuenca de Saneamiento del Caudal.

Notas: Estación depuradora, Bombas, Aliviaderos, Aliviadero/bombeo, Aliviadero/Achique, Galerías, Pozos

En el proceso de caracterización e identificación de fármacos en la cuenca de saneamiento del Caudal es importante considerar que una de las principales vías de

emisión de estos compuestos que es a través de las aguas del hospital de Mieres. En la planta de Baiña se encuentra instalado el Sistema de Información Geográfica del Consorcio de Aguas de Asturias (SIGCAA). Disponer de este sistema permite garantizar la disponibilidad de la información precisa, rápida, actualizada y georreferenciada de las infraestructuras, en servicio relativas a las redes de saneamiento.

En la Figura 13 se muestra el trazado de la red del colector y el punto señalado donde se localiza el hospital de Mieres y su conexión a la red de saneamiento de la cuenca del Caudal:



Figura 13. Conexión del hospital al sistema de saneamiento.

Notas: — Colector Principal ◀ Localización Hospital de Mieres

3.2.2. Proceso de depuración

Podemos definir el tratamiento de las aguas residuales como el conjunto de operaciones unitarias encaminadas al tratamiento y depuración de las aguas residuales, antes de su vertido al medio receptor, con el objetivo de evitar cualquier alteración en las características del mismo, siendo el objetivo final la protección del medio ambiente.

En las depuradoras convencionales de aguas residuales se distinguen dos líneas de tratamiento:

- Línea de agua: incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Línea de lodos: en ella se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.

En la planta de Baiña el proceso de depuración de las aguas residuales tiene lugar a través de un proceso de media carga en reactores flujo pistón, con una eliminación de nutrientes mediante un proceso de nitrificación-desnitrificación.

3.2.2.1. Proceso de fangos activos

El esquema de depuración de la planta de Baiña se recoge en la Figura 14.

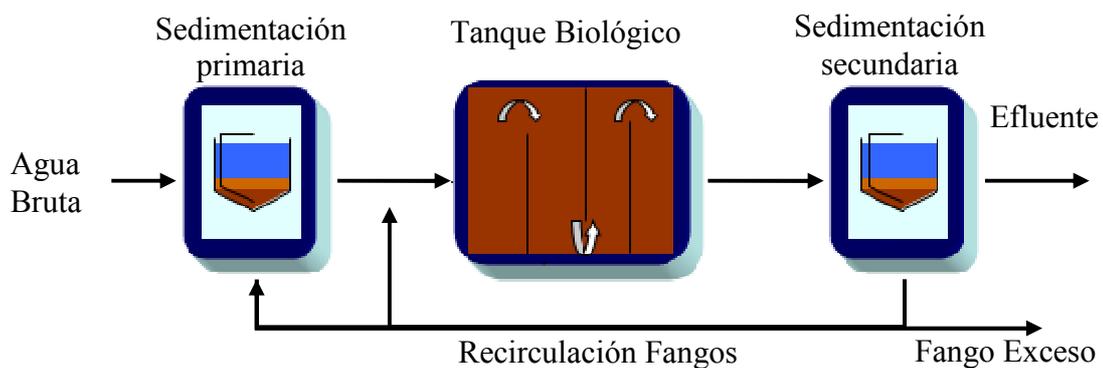


Figura 14. Esquema de depuración EDAR Baiña.

Vamos a centrarnos en el reactor biológico donde tienen lugar los procesos biológicos de depuración.

Todos los procesos biológicos que se emplean en el tratamiento del agua residual tienen su origen en fenómenos que se producen en la naturaleza.

En los reactores de flujo pistón el agua bruta (influyente de entrada a la planta) y el fango reciclado entran en el reactor biológico donde se mezclan con aire disuelto. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los fangos se separan en un decantador secundario.

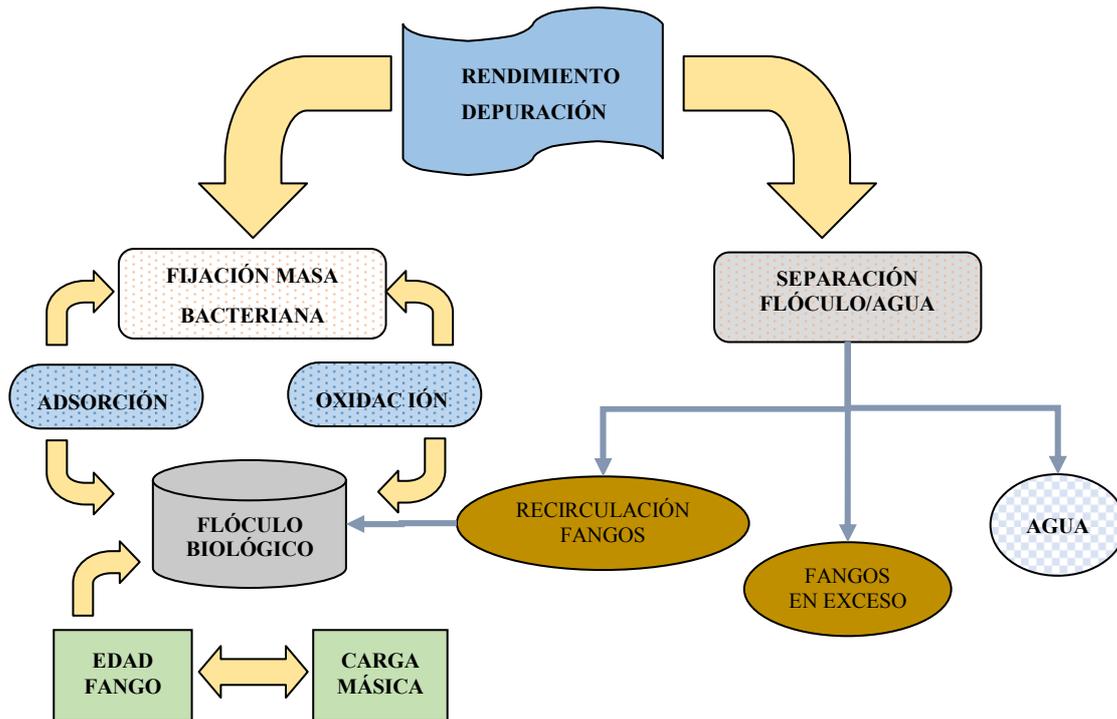


Figura 15. Proceso de Fangos Activos.

Para el diseño del proceso de fangos activados es necesario tener en cuenta:

- Tipo de reactor
- Criterios de carga
- Producción de fango
- Necesidades y transferencia de oxígeno
- Necesidades de nutrientes
- Control de organismos filamentosos
- Características del efluente

Cada uno de estos parámetros se define en el Anexo 2.

3.2.2.2. Proceso de eliminación de materia orgánica

El proceso de oxidación biológica que tiene lugar en los reactores biológicos de las plantas de aguas residuales consiste en la transformación de la materia orgánica de las aguas residuales en presencia de oxígeno y nutrientes de acuerdo al siguiente esquema:

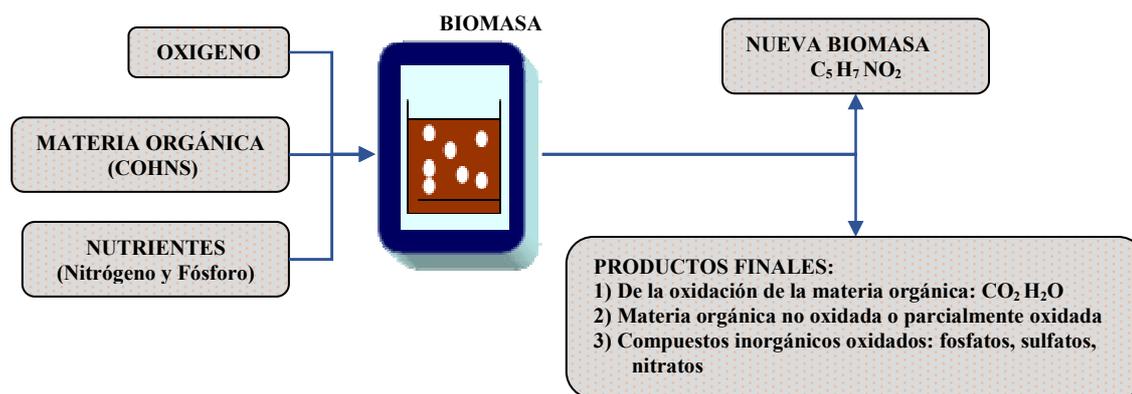
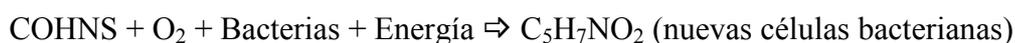


Figura 16. Esquema proceso de oxidación biológica.

De forma simultánea se llevan a cabo tres tipos de reacciones:¹⁵

- **Reacciones de Síntesis (proceso asimilatorio).**

Consisten en la incorporación de materia orgánica al protoplasma de los microorganismos, produciéndose nuevo tejido celular, es decir un incremento de la masa de organismos.



COHNS representa la materia orgánica presente en el agua residual. La fórmula $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ representa el tejido celular, es un valor que se usa con carácter generalizado obtenido de estudios experimentales. El proceso por el que los microorganismos aumentan y consiguen energía es complicado. Parte de la materia orgánica en solución puede difundirse directamente a través de la membrana celular de los microorganismos y otra parte, de carácter más complejo debe sufrir un tratamiento previo de hidrólisis, con la ayuda de enzimas extracelulares segregadas por las bacterias.

- **Reacciones de Oxidación (proceso disimilatorio).**

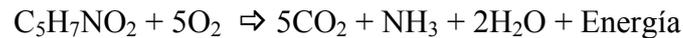
Una fracción de la materia orgánica se oxida dando lugar a productos finales. Este proceso se lleva a cabo para obtener la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular.



En ausencia de materia orgánica, el tejido celular será utilizado endógenamente produciéndose productos finales y energía para el mantenimiento de las células.

¹⁵ Documentación interna Acciona Agua.

- **Respiración endógena (autooxidación).**



Los objetivos del Tratamiento Biológico son dos:

- Eliminación de materia orgánica disuelta, coloidal y particulada
- Eliminación de nitrógeno y fósforo

3.2.2.3. Procesos de nitrificación-desnitrificación

En el caso de la planta de Baiña la eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes (en este caso sólo del nitrógeno) se lleva a cabo mediante un proceso de nitrificación-desnitrificación:



Figura 17. Esquema proceso nitrificación-desnitrificación.

El nitrógeno y fósforo son los principales nutrientes de importancia en el vertido de aguas residuales tratadas. Los vertidos que contienen nitrógeno y fósforo pueden causar:

- Eutrofización de lagos y embalses
- Crecimiento de algas y plantas acuáticas en aguas poco profundas
- Reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras
- Toxicidad para la vida acuática
- Efectos negativos sobre la efectividad de la desinfección con cloro
- Efectos sobre el potencial de un agua residual para ser reutilizada

En el caso de la planta de Baiña la instalación está preparada para eliminar nitrógeno pero no fósforo, por lo que nos vamos a centrar en la eliminación del nitrógeno.

La presencia del nitrógeno en las aguas residuales trae consigo una serie de problemas:

- Consumo de oxígeno por oxidación a nitrato
- Toxicidad en la fauna por niveles de amonio y nitrito

- El nitrógeno como el fósforo causan la eutrofización del medio natural
- Desnitrificación en la decantación secundaria

En el agua residual, el nitrógeno puede estar presente en múltiples formas, y son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos de tratamiento. Estas transformaciones permiten convertir el nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables del agua residual.

Los dos mecanismos principales que intervienen en este proceso son:

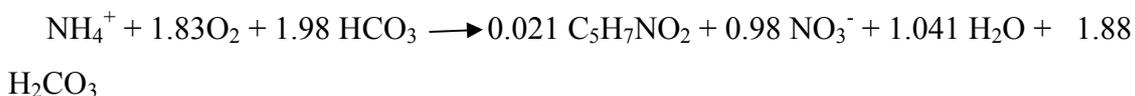
La asimilación

Como el nitrógeno es un nutriente, los microorganismos presentes en los tratamientos tenderán a asimilar el nitrógeno amoniacal y a incorporarlo a su masa celular. Una parte de este nitrógeno amoniacal retornará al agua residual con la lisis y muerte de las células.

La reacción de síntesis de biomasa se puede representar:



$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ representa las células bacterianas sintetizadas. La reacción global de oxidación y síntesis se puede representar como sigue:



La nitrificación-desnitrificación.

En la nitrificación-desnitrificación, la eliminación del nitrógeno se consigue en dos etapas. En la primera, la nitrificación, el amoníaco se convierte en nitrato. En este paso el nitrógeno apenas ha cambiado de forma y no se ha eliminado. En el segundo paso, la desnitrificación el nitrato se convierte en producto gaseoso que es eliminado.¹⁶

¹⁶ Documentación interna Acciona Agua.

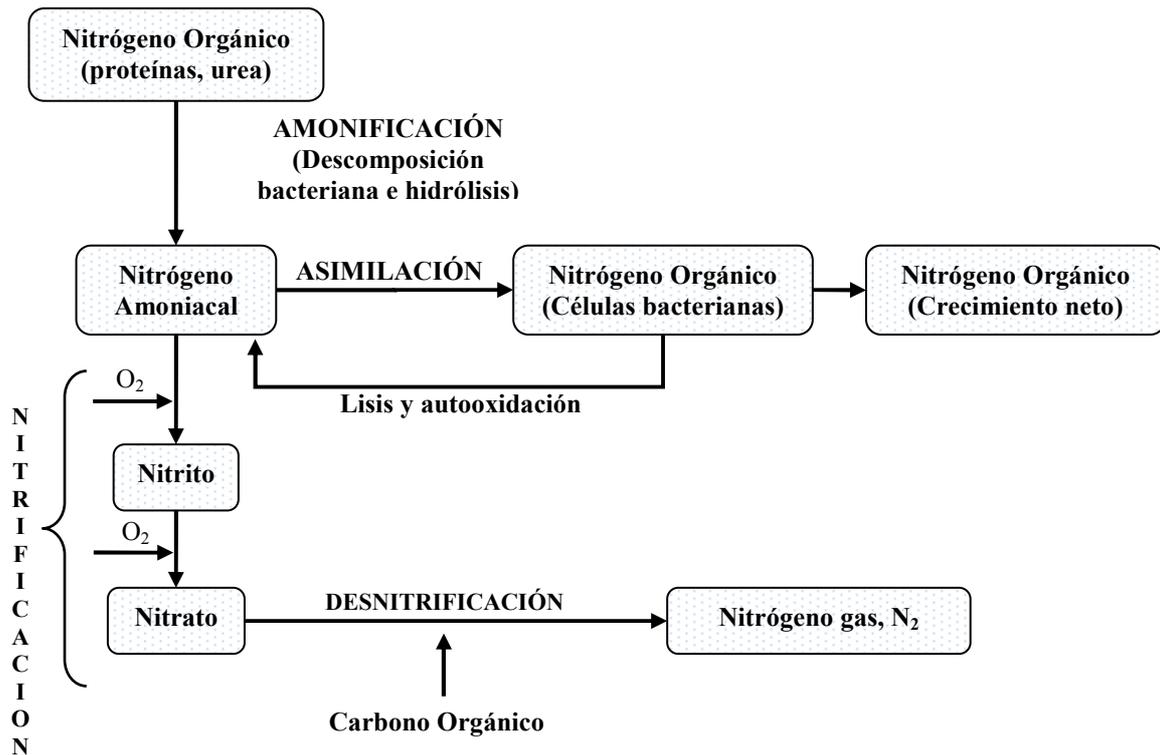


Figura 18. Proceso de transformación del nitrógeno.

De esta manera el proceso global que se lleva a cabo en la planta de Baña para la eliminación de materia orgánica y de nitrógeno es como el de la Figura 17.

3.3. PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los parámetros físico-químicos que se han seleccionado y se analizarán en las aguas residuales serán los siguientes:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitratos
- Nitritos
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno Total
- Nitrógeno Total Kjeldahl
- pH (20°C)
- Sólidos en Suspensión

Se han seleccionado estos parámetros por ser los que se recogen en la autorización de vertido de la planta de Baiña y mediante los cuales se establecen los rendimientos de depuración en el efluente de la planta, en su vertido al río Caudal.

En cuanto a los métodos analíticos que se seguirán en cada caso son los siguientes:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Electrometría
- Demanda química de oxígeno (DQO): Espectrofotometría UV-VIS
- Nitratos: Cromatografía iónica
- Nitritos: Cromatografía iónica
- Nitrógeno amoniacal: Titulación volumétrica
- Nitrógeno Total: Calculado
- Nitrógeno Total Kjeldahl: Titulación volumétrica
- pH (20°C): Electrometría
- Sólidos en Suspensión: Filtración

3.4. MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

El análisis de los contaminantes emergentes es un proceso complejo debido a varios factores. Entre ellos: matriz en la que se encuentran, las concentraciones son muy bajas y características físico-químicas muy distintas. Todo esto hace que la identificación y cuantificación de los contaminantes emergentes requiera de técnicas analíticas muy específicas con una instrumentación muy especializada de la que no se dispone en cualquier laboratorio convencional de una planta de aguas residuales.

3.4.1. Referencias bibliográficas

Los procedimientos más utilizados para llevar a cabo la determinación de compuestos orgánicos en matrices ambientales acuosas, emplean métodos de pre-concentración de la muestra, tales como extracción en fase sólida o extracción líquido-líquido, seguidos de la separación y determinación de los analitos mediante cromatografía de líquidos o cromatografía de gases, en combinación con técnicas de espectrometría de masas. La cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem está siendo, por lo general, la técnica más empleada en el análisis de compuestos orgánicos polares y semi-

polares en muestras medioambientales. Sin embargo, para la determinación de analitos no polares, volátiles y térmicamente estables, la metodología analítica más utilizada ha sido la cromatografía de gases.¹⁷

Con estas técnicas es usual trabajar buscando contaminantes “objetivo” seleccionando iones o transiciones concretas. Esto hace que la información generada con estas técnicas se reduzca al número de compuestos seleccionados y esto puede ser insuficiente para valorar la calidad de las aguas residuales o ambientales.

Con la espectrometría de tiempo de vuelo no existen estas limitaciones, ya que además de poder determinar los compuestos objeto del análisis, podemos detectar si aparecen productos de degradación o transformación de estos y otros compuestos no objetivo.

La cromatografía de gases en dos dimensiones acoplada a un detector de tiempo de vuelo es una técnica muy poderosa, todavía poco explorada en el análisis de contaminantes en agua, que proporciona ventajas en el análisis de trazas como son el aumento de la sensibilidad y la resolución de los compuestos de interés, extrayéndolos de las impurezas y las interferencias. También permite la determinación simultánea de un gran número de contaminantes, además de otras ventajas adicionales, como el proporcionar cromatogramas ordenados en dos dimensiones, que nos ayudan a visualizar de forma rápida la contaminación.¹⁸

3.4.2. Método analítico seleccionado

Basándose en a los contaminantes emergentes seleccionados, el estudio que se acometerá en el proyecto de Doctorado, se centrará en la identificación y cuantificación de diez contaminantes emergentes de naturaleza farmacológica (alprazolam, lorazepam, bromazepam, simvastatina, atorvastatina, omeprazol, ácido acetilsalicílico, ibuprofeno, paracetamol y tramadol). Se caracterizarán las muestras por cromatografía líquida de triple cuadrupolo, previa extracción manual con cartuchos de extracción en fase sólida adecuados y cuantificación con estándar interno.

3.5. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS

No existe una técnica de preparación de muestras universal para todo tipo de muestras y ésta dependerá de la naturaleza de los analitos, de la matriz, y del método del análisis final

¹⁷ http://www.consolider-tragua.com/documentos/protocolo_muestreo_analisis.pdf. Página 4. Visitada 29/11/2014.

¹⁸ A. Rodríguez, M^a J. Gómez, S. Herrera, M.M Gómez. Evaluación y presencia de Contaminantes Emergentes en aguas residuales urbanas y en aguas de ríos. *Retema*, **2010**, 22, 23-28.

seleccionado. Por lo tanto, la selección y optimización del procedimiento de preparación de muestras será un factor clave en el éxito final del análisis, y la elección de un procedimiento adecuado influirá mucho en la fiabilidad y la precisión del análisis y por tanto en los resultados.¹⁹

3.5.1. Referencias bibliográficas

La muestra deberá ser homogénea, representativa y no modificar las propiedades físico-químicas o biológicas del agua, esta es la base de la esencia de cualquier determinación analítica.

En el estudio que se llevará a cabo, para que la muestra sea representativa, no se considerarán muestras puntuales (tomadas en un lugar concreto de las instalaciones y un momento determinado, procediéndose a continuación a su caracterización en el laboratorio). Se puede obtener una información más representativa utilizando diversas metodologías:

- Toma muestras automáticos que permiten trabajar con muestras integradas (se denomina así a una mezcla de muestras puntuales recogidas en el mismo punto en distintos momentos). De forma general se suelen tomar muestras compuestas que representen un periodo de 24 horas con muestreadores automáticos. Así es como de forma general se trabaja en las plantas de tratamiento de aguas residuales con perfiles de 24 horas
- Muestreadores pasivos que son dispositivos que retienen continuamente contaminantes en su interior. Presentan una serie de ventajas como:
 - Límites de detección más bajos
 - Muestras representativas de periodos más largos

Pero entre sus desventajas:

- Se precisan varios tipos de dispositivos para determinar compuestos de diferente polaridad
- Su uso no está contemplado en ninguna normativa

¹⁹ http://www.consolider-tragua.com/documentos/protocolo_muestreo_analisis.pdf.Página 5. Visitada 29/11/2014.

- Velocidad de acumulación: afectados por temperatura, turbulencia y biofouling de las membranas (proceso de ensuciamiento por acumulación de microorganismos)²⁰

3.5.2. Procedimiento seleccionado

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el procedimiento de toma de muestras que se establecerá será el siguiente:

El estudio se llevará a cabo durante un periodo de tres meses en el que se analizarán 56 muestras compuestas (muestra integrada durante 24 horas) de aguas de entrada y salida de la planta de Baiña. Para ello, se instalarán dos toma muestras automáticos y refrigerados en continuo, uno en entrada de planta y otro en salida de planta. Los viernes se recogerá una muestra homogénea representativa de la semana y los lunes se recogerá una muestra homogénea correspondiente al fin de semana.

De la muestra recogida el viernes, se tomarán dos submuestras, una submuestra de 1 litro, para analizar los parámetros físico-químicos que hemos designado:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitratos
- Nitritos
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno Total
- Nitrógeno Total Kjeldahl
- pH (20°C)
- Sólidos en Suspensión

El único parámetro que se realizará de manera diaria es la demanda biológica del oxígeno ya que el método de almacenamiento en toma muestras refrigerado implica que se haga el análisis cada 48 horas.

La otra submuestra de 500 ml se recogerá en un frasco de plástico para el análisis de los contaminantes emergentes. Esta muestra se subdividirá en tres alícuotas de unos 166 ml

²⁰ Ponencia oral semana Agbar de la Innovación (SAI). AGBAR. Barcelona. Mayo 2007
http://www.sostaqua.com/publications/project_events.php?act=10&task=37. Visitada 29/11/2014

cada una, en el caso del influente a planta la muestra se filtrará previamente, no siendo necesario el proceso de filtración en las muestras de salida de planta. Las muestras se congelarán a -18 °C hasta la realización de los análisis correspondientes.

En el caso de las muestras tomadas los lunes, correspondientes al fin de semana, sólo se analizarán los contaminantes emergentes. De esta manera se analizará la estacionalidad en los fines de semana, en el caso de que se produjese dicha estacionalidad. La planta de Baiña tiene instalada una estación meteorológica por lo que también se estudiará el efecto de dilución provocada en las muestras como consecuencia de los episodios de lluvia.

El principal problema que se encontrará a la hora de llevar a cabo la toma de muestras en matrices acuosas es la baja concentración en que se encuentran los contaminantes emergentes que hacen necesarios procesos de pre-concentración. Por lo que será necesario llevar a cabo un proceso de extracción.

La etapa de extracción puede considerarse como otro punto crítico del análisis. En la mayoría de los casos, la falta de automatización hace que sea esta etapa la que consume mayor tiempo. El método de extracción seleccionado dependerá de la naturaleza de los compuestos a analizar, así como de sus propiedades físico-químicas y de los sistemas analíticos disponibles.

En nuestro caso consideraremos una extracción sólido-líquido que permite la extracción de analitos polares o semipolares. Sus principales objetivos son la limpieza de la muestra, “clean-up”, la concentración del analito en ésta, y la posibilidad de cambio de disolvente (por ejemplo de acuoso a orgánico). Inicialmente, los analitos quedan retenidos en la fase sólida. A continuación son extraídos de ésta, con un tampón acuoso o disolvente orgánico. A esta etapa se la conoce con el nombre de elución. Muchos factores influyen en la eficiencia del proceso de extracción, pero los dos más importantes son la capacidad del absorbente y la retención de los analitos en él. Existe un gran número de adsorbentes comerciales, aunque los más usados para extraer contaminantes emergentes de matrices acuosas son los genéricos, concretamente los de sílica enlazada (C-18 o C8) y los poliméricos (Isolute 101®, LiChrolut® EN, Isolute ENV+®, Oasis HLB®, StrataX®).²¹

²¹ http://www.consolider-tragua.com/documentos/protocolo_muestreo_analisis.pdf. Página 10-11.
Visitada 29/11/2014.

3.6. PERMISOS Y AUTORIZACIONES

Dentro del proceso de planificación se considerarán todas las actuaciones necesarias para poder disponer de los permisos y autorizaciones requeridas para hacer el muestreo correspondiente.

En la actualidad ya se cuenta con el permiso otorgado por la Consejería de Medio Ambiente del Principado de Asturias.

CONCLUSIONES

En el Trabajo Fin de Máster se ha llevado a cabo la planificación necesaria para que en una segunda etapa, que se enmarca dentro de un proyecto de Doctorado, se pueda acometer el estudio de “Caracterización y Cuantificación de Contaminantes Emergentes y sus Rendimientos de Eliminación en las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”. De esta manera:

- Se han seleccionado diez contaminantes emergentes de naturaleza farmacológica (alprazolam, lorazepam, bromazepam, simvastatina, atorvastatina, omeprazol, ácido acetilsalicílico, ibuprofeno, paracetamol y tramadol).
- El estudio se realizará en la planta de tratamiento de aguas residuales Baiña y su red de saneamiento, teniendo en cuenta que el Hospital de Mieres vierte a la cuenca del caudal y por tanto sus aguas se recogen en la planta de Baiña.
- Se ha tenido en cuenta los procesos de depuración que tienen lugar en la planta de Baiña y se han determinado las principales variables de proceso que nos permitirán establecer conclusiones entre dichos valores y los rendimientos de eliminación que se detecten en los compuestos emergentes analizados.
- Se han definido los parámetros físicos-químicos de las aguas residuales que se analizarán en conjunto con los contaminantes emergentes.
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
 - Demanda química de oxígeno (DQO)
 - Nitratos y Nitritos
 - Nitrógeno amoniacal y Nitrógeno Total
 - Nitrógeno Total Kjeldahl
 - pH (20°C)
 - Sólidos en Suspensión
- Se ha seleccionado el método analítico para la determinación de los contaminantes emergentes, se caracterizarán las muestras por cromatografía líquida de triple

cuadripolo, previa extracción manual con cartuchos de extracción en fase sólida adecuados y cuantificación con estándar interno.

- Se ha definido el procedimiento de toma de muestra y monitorización de las aguas residuales para la caracterización tanto de los parámetros físico-químicos como de los contaminantes emergentes.
- Se han considerado todas las actuaciones necesarias para poder disponer de los permisos requeridos, por la autoridad competente, para realizar el muestro y los análisis correspondientes. A día de hoy se dispone del permiso de la Consejería de Medio Ambiente del Principado de Asturias para realizar el ensayo de caracterización y cuantificación de fármacos en la planta de Baiña.

ANEXOS

ANEXO I: PARÁMETROS DE PROYECTO PLANTA DE BAIÑA

ZONA 1. OBRA DE LLEGADA



Pozo de gruesos



Tornillos de elevación agua bruta

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación

- ◆ Caudales diseño:
 - Caudal máximo admitido pretratamiento: 2.400 l/s
 - Caudal punta: 1.000 l/s
 - Caudal medio : 500 l/s
 - Caudal mínimo: 250 l/s
- ◆ Número de pozos de bombeo: 1 Ud.
 - Volumen: 68 m³
- ◆ Capacidad cuchara: 0,3 m³
- ◆ Tornillos de elevación:
 - Número de tornillos: 2+1
 - Caudal unitario: 800 l/s
 - Caudal total (incluido reserva): 2.400 l/s
 - Inclinación: 38 grados
 - Longitud total de hélice: 15,048 m
 - Longitud total del tornillo: 16,268 m
 - Diámetro de hélice: 2.020 mm
 - Diámetro del eje: 1.219 mm
 - Potencia unitaria instalada: 150CV

ZONA 2.1. PRETRATAMIENTO: BY PASS GENERAL



By- Pass

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación

- Caudales diseño:
Caudal máximo admitido: 3.600 l/s
- Longitud del vertedero: 14 m

ZONA 2.2. PRETRATAMIENTO: DESBASTE DE SOLIDOS FINOS

Desbaste de finos

DATOS PROYECTOS**Condiciones de Operación Desbaste finos**

- Número de canales: 2uds
- Luz libre de paso de las rejillas: 8 mm
- Espesor de barros: 6 mm
- Velocidad de paso a caudal máximo través de la reja: 1,4 m/s
- Profundidad canal: 2,1 m
- Ancho de canal: 1,5 m:
- Velocidad de paso por canal: 0,57 m/s
- Tipo de reja: Verticales, de limpieza automática.
- Limpieza: Por medio de rastrillo oleo hidráulico

ZONA 2.3 PRETRATAMIENTO: DESARENADO-DESENGRASADO



Desarenador-Desengrasador

DATOS PROYECTOS

Condiciones de Operación Desarenador-Desengrasador

- Caudales diseño:
Caudal máximo admitido por línea : 2.880 m³/hora
Caudal medio horario: 1.800 m³/hora
- Número de desarenadores: 2 Uds.
- Tiempo de Retención:
Caudal máximo admitido :7,5 min
Caudal medio :12 min
- Velocidad ascensional:
A caudal máximo admitido con dos líneas : 21,3 m/h
A caudal medio con una sola línea: 13,3 m/h
- Longitud útil: 30 m
- Ancho: 4,5 m
- Superficie unitaria: 135 m²
- Altura útil: 2,65 m
- Volumen unitario: 357,8 m³
- Volumen total: 715,6 m³

ZONA 2.3 PRETRATAMIENTO: DESARENADOR-DESENGRASADOR

Bomba extracción arenas

DATOS PROYECTO**Condiciones de Operación Desarenador-Desengrasador: Sistema de Aireación**

- Sistema de aireación: difusión Flygt basado en el efecto Venturi
- Caudal unitario por línea: 513 m³/h
- Número de difusores por desarenador: 7
- Número de bombas por línea: 1
- Número de bombas en total: 2+1
- Caudal de agua unitario: 680 m³/h
- Caudal de agua total: 1.360 m³/h

Condiciones de Operación Desarenador-Desengrasador: Producción, Extracción y Bombeo de Arenas

- Número de bombas de extracción de arenas: 2 (1 por canal)
- Caudal unitario: 60 m³/hora
- Altura manométrica: 3 m.c.a
- Potencia unitaria instalada: 3 CV
- Coeficiente de extracción: 20,5 l/m³

ZONA 2.3 PRETRATAMIENTO: DESARENADOR-DESENGRASADOR



Clasificador de arenas



Separador grasas

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Desarenador-Desengrasador: Clasificador de Arenas

- Número de unidades: 1 Ud.
- Tipo de escurridor: Clasificador vaivén
- Ancho: 750 mm
- Inclinación: 35 grados
- Sistema de automatismo: temporizado con las bombas de extracción de arenas

Condiciones de Operación Desarenador-Desengrasador: Eliminación de grasas y aceites

- Número de unidades: 1 Ud.
- Tipo: sistema de rascado
- Ancho de canal: 1 m
- Longitud total: 2 m
- Número de rasquetas: 6

ZONA 3. TRATAMIENTO PRIMARIO: DECANTACIÓN PRIMARIA

Decantadores primarios

DATOS PROYECTO**Condiciones de Operación Decantadores primarios**

- Número de decantadores: 3 Ud.
- Tipo: Circular
- Diámetro: 30 m
- Superficie unitaria: 707 m²
- Altura sobre vertedero: 2,8 m
- Volumen unitario: 2.192 m³
- Longitud de vertedero unitario: 94 m
- Volumen total: 6.575 m³
- Tiempo de retención a caudal máximo: 13,40 m³/h/m.l
- Tiempo de retención a caudal medio: 3,48 h

ZONA 3.1. BOMBEO DE FANGOS PRIMARIOS



Bombeo de fangos primarios

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Decantadores primarios

- Volumen a extraer de fango primario: 5.423,6 Kg/día
- Caudal de fangos: 543 m³/día
- Concentración de salida: 10 Kg/m³
- Número de bombas: 3 (1 en reserva)
- Caudal unitario: 70 m³/h
- Diámetro tubería impulsión: 200 mm

ZONA 4. BOMBEO ELEVACION A TRATAMIENTO BIOLÓGICO

By-pass posterior a pretratamiento



Elevación a biológico

DATOS PROYECTO**Condiciones de Operación Elevación Tratamiento Biológico**

- Caudales diseño:
Caudal unitario: 350 l/s
Caudal total: 1.050 l/s
- Tipo de bombas: Tornillo de Arquímedes
Altura de elevación: 2,85 m
Número total de bombas: 2 +1 reserva
Inclinación: 30 grados
Longitud total de hélice: 7,30 m
Longitud total del tornillo: 8,23 m
Potencia unitaria instalada: 25 CV

ZONA 5. TRATAMIENTO BIOLÓGICO



Reactor biológico



Condiciones operación

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Tratamiento Biológico

- Concentración adoptada en el reactor: 3,5 g/L
- Edad de fango: 15 días
- Carga másica: 0,094 Kg/Kg
- Tipo de Proceso: Fangos activos de baja carga con eliminación de nitrógeno
- Carga Volúmica de diseño: 0,327 kg/m³
- Concentración DBO₅ a la salida biológico: <5 mg/L
- Número de reactores biológicos: 2 Uds.
- Recirculación externa de fangos: 100%

ZONA 5.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Reactor biológico
Producción de fangos biológicos

DATOS PROYECTO**Producción Fangos Biológicos**

- DBO₅ del agua decantada: 129,8 gr/m³
- DBO₅ del agua depurada: 5 gr/m³
- DBO₅ sintetizada: 124,8 gr/m³
- Peso diario de DBO₅ eliminada: 5.391,4 Kg
- Fangos en exceso por Kg de DBO₅ eliminada: 0,7kg/Kg
- Producción total de fangos: 3.774 Kg /dia
- Caudal unitario de bombeo: 50 m³/h
- Número de bombas: 3

ZONA 5.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO



Reactor biológico
Recirculación interna

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Recirculación interna

- Tipo de bombeo: sumergible
- Caudal unitario: 225 m³/h
- Altura elevación por línea: 2 m
- Número de bombas por línea: 2

ZONA 6. DECANTACIÓN SECUNDARIA



Decantadores secundarios



Condiciones operación

DECANTACION SECUNDARIA

Condiciones de Operación Decantación Secundaria

- Tipo de Decantador: Circular de succión
- Número de Decantadores: 3
- Diámetro: 40 m
- Superficie de decantación unitaria: 1.257 m²
- Volumen unitario: 4.651 m³
- Longitud unitaria de vertedero: 228 m
- Carga Hidráulica de diseño:

Caudal medio: 0,36 m³/m²/h

Caudal máximo: 0,71 m³/m²/h

- Carga de sólidos a caudal medio: 2 m³/h/m.l.
 - Carga de sólidos a caudal máximo: 4 m³/h/m.l.
 - Tiempo de Retención:
- Caudal medio: 10,4 horas
- Caudal máximo: 5,2 horas

ZONA 7. EDIFICIO DE RECIRCULACION



DECANTACION SECUNDARIA

Recirculación externa de fangos

- Número de tornillos de recirculación : 4
- Caudal unitario bombas: 900 m³/hora
- Porcentaje normal de recirculación: 100%
- Concentración de fangos recirculados: 3,5 g/L

ZONA 7.1 EDIFICIO DE RECIRCULACION

Producción de fangos en exceso

DATOS PROYECTO**Producción Fangos Biológicos**

- DBO₅ de entrada a biológico: 129 gr/m³
- DBO₅ del agua tratada: 5 gr/m³
- DBO₅ sintetizada: 124,8 gr/m³
- Peso diario de DBO₅ eliminada: 5.391,4 Kg
- Fangos en exceso por Kg de DBO₅ eliminada: 0,7 Kg/Kg DBO₅ eliminada

Fangos en excesos a Purgar

- Fango en exceso a purgar: 3.774 Kg /día
- Concentración de purga: 3 g/l
- Caudal horario a extraer: 52,4 m³/h
- Número de bombas: 3
- Caudal unitario: 50 m³/hora

ZONA 8. ESPESAMIENTO DE FANGOS PRIMARIOS



Espesamiento por gravedad

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Espesamiento de Fangos primarios

El fango primario se bombea a partir del pozo de recogida de fango primario a los espesadores

- Volumen de fangos a espesar: 542
- Números de espesadores: 2
- Superficie unitaria: 63,6 m²
- Volumen unitario: 222,6 m³
- Carga Hidráulica: 0,178 m³/m²/h
- Carga de sólidos: 42,7 Kg MS/m²/dia
- Tiempo de retención: 19,7 horas
- Volumen diario de extracción: 77,5 m³/dia

ZONA 8.1 ESPESAMIENTO DE FANGOS EN EXCESO

Espesamiento por flotación

DATOS PROYECTO**Condiciones de Operación Espesamiento de Fangos en exceso**

- Volumen (6 g/l) de fangos a espesar: 629 m³/día
- Números de flotadores: 2
- Superficie unitaria: 19,6 m²
- Volumen unitario: m³
- Carga másica en flotación: 5 Kg/m²/h
- Carga másica adoptada: 4 Kg/h/m²
- Bombas de presurización o flotación: 3
- Caudal unitario: 26 m³/h
- Caudal total: 52 m³/h

ZONA 8.2 BOMBEO DE FANGOS ESPESADOS



Cámara de homogeneización



Depósito almacén

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación bombeo de fangos espesados

Los fangos espesados primarios y en exceso flotados se reciben en una cámara de homogeneización de 15 m³ para su bombeo al depósito almacén

- Número de bombas: 3
- Tipo. MONO
- Peso de fangos primarios. 5.424 Kg/día
- Peso de fangos en exceso: 3.774 kg/día
- Peso total fangos: 9.198 kg/día
- Concentración: 57 gr/l
- Volumen máximo diario: 161,5 m³
- Caudal unitario: 20 m³/h
- Caudal total. 40 m³/h
- Altura manométrica: 15 m
- Volumen depósito almacén: 222,6 m³
- Tiempo de retención: 33 horas
- Bombas de recirculación almacén o bombeo a cámara de floculación: 2
- Caudal unitario: 60 m³/h
- Altura impulsión: 10 m.c.a

ZONA 8.3 ACONDICIONAMIENTO QUÍMICO DE FANGOS



Depósito de cal



Depósito de Cloruro Férrico

DATOS PROYECTO

Condiciones de acondicionamiento químico de los fangos previo a la deshidratación

- Reactivos utilizados: Cal hidratada y Cloruro férrico al 40%
- Dosis proyecto cal: 100 Kg/Tn
- Dosis proyecto cloruro férrico: 70 Kg/Tn
- Peso de cal máximo a utilizar: 920 Kg/día
- Instalación cal:
 - Número de silos de cal: 1
 - Volumen de silo: 50 m³
 - Cuba de dilución: 1000 l
 - Número de bombas de dosificación de cal: 2
 - Caudal unitario de dosificación: 10 m³/h
- Instalación cloruro férrico:
 - Número de depósitos: 1
 - Material del depósito: Poliéster reforzado con fibra de vidrio.
 - Volumen depósito: 20 m³
 - Bombas de dosificación: 2
 - Caudal unitario de dosificación: 500 l/ h

ZONA 9 ALMACENAMIENTO DE FANGOS ACONDICIONADOS QUIMÍCAMENTE



DATOS PROYECTO

Condiciones de acondicionamiento químico de los fangos previo a la deshidratación

- Cámaras de mezcla y floculación:
 - Número de líneas: 2
 - Número de cubas por línea: 3
 - Número de cámaras de mezcla: 2
 - Número de cámaras de floculación: 1
 - Volumen de cámara de mezcla: 1 m³
 - Volumen cámara de floculación: 8 m³
- Depósito tampón
 - Volumen: 222,6

Condiciones de Operación Bombeo de Fangos a Deshidratación

- Volumen de llenado filtro: 4 min
- Volumen de bombeo: 80 m³/h
- Tipo de Bombas:
 - De membrana –émbolo: 2
 - Caudal : 30 m³/h
 - Presión: 12 a 15 Kg/cm²
 - Potencia: 18,5 Kw
 - De husillo: 2
 - Caudal: 50 m³/h
 - Presión: 5,5 Kg/cm²

ZONA 10 DESHIDRATACION DE FANGOS

Filtros prensa

DATOS PROYECTO**Condiciones de Operación de Deshidratación**

- Tipo deshidratación: Filtros prensa
- Número de filtros: 2
- Volumen de torta: 4.565 litros
- Espesor de torta: 30 mm
- Peso de la torta: 5.478 Kg
- Número de placas por filtro: 145
- Dimensiones de la placa: 1200 x 1200
- Tiempo de filtración: 1,5 horas
- Sequedad torta: 40 %

ZONA 10.1 DESHIDRATACION DE FANGOS



Fangos Deshidratados



Almacenamiento

DATOS PROYECTO

Condiciones de Operación Fangos Deshidratados. Almacenamiento

- Peso máximo de fango a filtrar: 10.762 Kg/día
- Peso de fango a filtrar 5 días a la semana : 15.067 Kg/día
- Volumen de fangos deshidratados por día: 88.68 m³/día
- Densidad de la torta: 1,100 Kg/m³
- Volumen de la torta: 4.565 litros
- Número de prensadas: 6,87
- Número de silos: 1
- Capacidad del silo: 50 m³
- Conducción del fango desde la cinta al silo: Transportador –elevador tipo Radler, con capacidad de transporte de 30 Tn/h
- Descarga del silo: Sistema de extracción tipo CENTREX.

ZONA 11. EQUIPOS DE CONTROL Y MEDIDA



- Medidores de caudal
- Medidores de nivel
- Medidores de oxígeno disuelto
- Medidores de conductividad
- Medidor de temperatura
- Medidor de pH

ZONA 12 SERVICIOS AUXILIARES



DATOS PROYECTO

Instalaciones eléctricas

- Centro de transformación de 32 Kw
- Número de Transformadores: 2 (1 en reserva)
- Grupo electrógeno: 1 Ud.
- CCM: 3 Uds.

ZONA 12.1 RED DE AGUA A PRESIÓN



DATOS PROYECTO

Instalaciones eléctricas

- Dos bombas sumergibles de caudal 50 m³/h
- Filtro de limpieza del agua Centro de transformación de 32 Kw
- 2 grupos de presión de 25 m³/h de capacidad unitaria
- 2 calderines de 1.500 litros.
- Red de agua a todos los puntos de uso en planta.

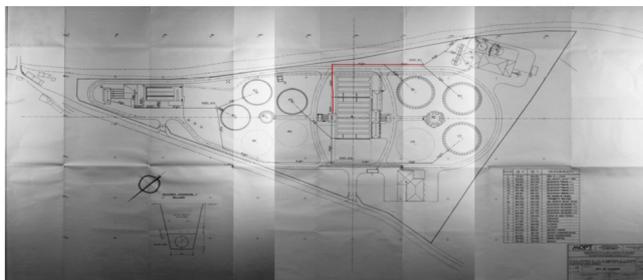
ZONA 12.2 RED DE AIRE A PRESIÓN



DATOS PROYECTO

Instalaciones de aire a presión

- Dos grupos de presión (uno de reserva) de 300 l/minuto a 7 bares de presión
- Red de conducción a los diferentes puntos de uso a través de la galería de servicio en tubería de cobre.

ZONA 12.3 RED DE VACIADOS**DATOS PROYECTO****Condiciones de Operación red de vaciados**

- Todos los reboses de los equipos de la EDAR son conducidos mediante una tubería de PVC al pozo de vaciados adosado al pozo gruesos.

ZONA 12.4 TALLERES Y ALMACÉN**DATOS PROYECTO**

- Taller eléctrico
- Taller mecánico
- Almacén

ZONA 12.5 SALA DE CONTROL



DATOS PROYECTO

- Cuadro sinóptico
- Pupitre de mando
- Ordenadores de gestión : 2

ZONA 12.6 LABORATORIO



DATOS PROYECTO

- Laboratorio adaptado para caracterizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos.

ZONA 12.7 GALERÍA DE SERVICIOS**DATOS PROYECTO**

- Dimensiones: 2 x2,5

ZONA 12.8 SECADO TÉRMICO**DATOS PROYECTO**

- Tecnología utilizada: Bomba de calor
- Sequedad fango entrada: 35-40 %
- Sequedad final: 95 %

FUERA DE SERVICIO

ANEXO II: PARÁMETROS DE DISEÑO PROCESO DE FANGOS ACTIVOS.

Parámetros de diseño proceso de fangos activos.

a) Tipo de Reactor

Los aspectos operacionales que intervienen son:

- Cinética de las reacciones que gobiernan el proceso
- Necesidades de transferencia de oxígeno
- Naturaleza del agua residual a tratar
- Condiciones locales ambientales
- Costes de construcción y de explotación

b) Criterios de Carga

En base al siguiente esquema:

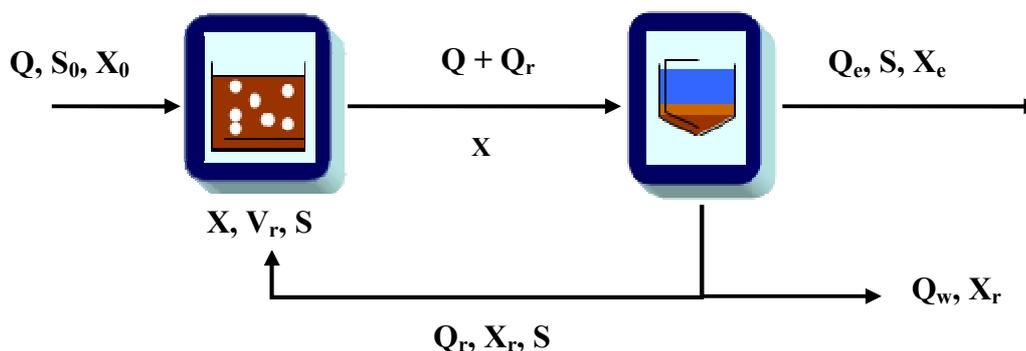


Figura 19. Balance de masas EDAR Baiña. Notas: V_r = Volumen del reactor; Q = Caudal afluente, volumen / tiempo; Q_e = Caudal de líquido efluente, volumen / tiempo; Q_w = Caudal de purga desde el reactor, volumen / tiempo; Q_r = Caudal de recirculación, volumen / tiempo; X_0 = Concentración de microorganismos a la entrada del reactor, masa SSV/ unidad volumen; X_e = Concentración de microorganismos en el efluente, masa SSV/ unidad volumen; X = Concentración de microorganismos en el reactor, masa SSV/ unidad volumen; S_0 = Concentración de sustrato en el afluente, mg / l; S = Concentración de sustrato en el efluente, mg / l; X_r = Concentración microorganismos recirculación de fangos, masa SSV/unidad volumen.

Los dos principales parámetros de carga son la carga másica y la edad del fango.

Carga Másica

Se define como la relación alimento-microorganismo (F/M), es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor por unidad de tiempo y la masa de

microorganismos existentes en el mismo. Se expresa en Kg de DBO₅ en el influente por día, / Kg MLSS en el reactor. :

$$F/M = S_0 / \Theta \cdot X$$

F/M= carga másica, d⁻¹

S₀ = Concentración de DBO, DQO en el afluente, Kg / m³

Θ = Tiempo de retención hidráulica, V/Q, días.

V= volumen del tanque de aireación, m³.

Q= Caudal de entrada, m³ / día.

X= Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, Kg / m³.

Edad del Fango

El tiempo de retención celular se define como la masa de microorganismos del reactor dividida por la masa diaria de microorganismos purgada del sistema. Se expresa en Kg de MLSS (sólidos en suspensión en el licor mixto) / Kg de fangos en exceso por día.

Si purgamos desde la recirculación:

$$\Theta_c = V_r \cdot X / Q_w \cdot X_r + Q_e \cdot X_e$$

Θ_c = Tiempo medio de retención celular, días.

V_r = Volumen del tanque de aireación, m³.

X= Concentración de sólidos en suspensión volátiles en el tanque de aireación, Kg /m³.

Q_w= Caudal del fango purgado, m³/día.

X_r= Concentración de sólidos en suspensión volátiles en la recirculación, Kg /m³.

Q_e = Caudal efluente m³/día.

X_e= Concentración de sólidos en suspensión en efluente, Kg /m³.

En función de los valores de carga másica o edad del fango los procesos de fangos activos se pueden clasificar en:²²

Tabla 6. Procesos fangos activos.

²² Documentación interna Acciona Agua.

Proceso	Carga másica (Cm)	Carga Volúmica (Cv)	Edad de los fangos, días	Rendimiento de la eliminación de la DBO ₅
	Kg DBO ₅ / Kg MES.día	Kg DBO ₅ / m ³ .día		
Baja Carga	Cm < 0,16 Cm < 0,07 (aireación prolongada)	Cv < 0,40	10 a 29	≥ 90%
Media Carga	0,16 < Cm < 0,4	0,5 < Cv < 1,4	4 a 10	~ 80 al 90%
Alta Carga	1,1 < Cm < 0,4	1,5 < Cv < 3	1,4 a 4	< 80%

c) Producción de Fango

El conocimiento de la producción diaria de fango es importante puesto que afecta al diseño de las instalaciones de tratamiento y evacuación del fango en exceso. La producción diaria de fango que hay que purgar se puede estimar mediante:

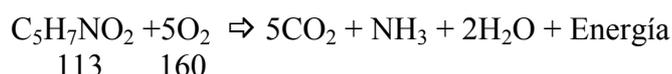
$$P_X = Y_{\text{obs}} \cdot Q \cdot (S_0 - S) \cdot (10^3 \text{ g / Kg})^{-1}$$

P_X = producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, Kg/día.

Y_{obs} = producción observada, Kg / Kg. ($Y / 1 + K_d \cdot \Theta_c$)

d) Necesidades transferencia de Oxígeno

La necesidad teórica de oxígeno se puede determinar a partir de la DBO del agua residual y de la cantidad de organismos purgados diariamente. Si toda la DBO se convirtiera en productos finales, la demanda total de oxígeno se podría calcular convirtiendo la DBO₅ en DBO_L utilizando un factor de conversión adecuado. Por otro lado se sabe que parte del residuo se convierte en tejido celular nuevo que, posteriormente se purga del sistema, de modo que, si la DBO_L del tejido celular se resta del total, la cantidad remanente corresponde a la cantidad de oxígeno que es necesario suministrar al sistema.



Si todas las células se oxidan por completo, la DBO_L de las células equivale a 1.42 (160/113) veces el valor de la concentración de células.

Por lo tanto, la demanda teórica de oxígeno para la eliminación de la materia orgánica carbonosa presente en el agua residual de un sistema de fangos activos se puede calcular:

$$\text{Kg O}_2 / \text{día} = (\text{masa de DBO}_L \text{ utilizada, Kg/día}) - 1.42 (\text{masa de organismos purgados, Kg/día})$$

$$\text{Kg O}_2 / \text{día} = Q. (S_0 - S). (10^3 \text{ g / Kg})^{-1} / f - 1.42. P_x$$

f = factor de conversión de DBO₅ en DBO_L (0.45-0.68).

En los casos en los que se deba considerar la nitrificación, la demanda total de oxígeno se puede calcular como la suma de la demanda necesaria para la eliminación de la materia orgánica carbonosa más la demanda de oxígeno necesaria para la conversión del nitrógeno (amoníaco a nitrato) según la expresión:

$$\text{Kg O}_2 / \text{día} = Q. (S_0 - S). (10^3 \text{ g / Kg})^{-1} / f - 1.42. P_x + 4.57.Q. (N_0 - N). 103 \text{ g / Kg})^{-1}$$

N₀ = NKT del influente, g/m³.

N = NKT del efluente, g/m³.

4.57 = factor de conversión para la demanda de oxígeno necesaria para la oxidación completa del NKT.

El suministro de aire debe ser adecuado para:

- Satisfacer la DBO del agua residual.
- Satisfacer la respiración endógena de los organismos presentes en el fango.
- Proporcionar un mezclado adecuado.
- Mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación comprendido entre 1-1,5 mg/l.

e) **Necesidades de Nutrientes**

Para que un sistema biológico funcione correctamente es necesario que se hallen presentes cantidades adecuadas de nutrientes. La relación de nutrientes debería ser:

Carbono: Nitrógeno: Fósforo = 100:5:1

f) **Control microorganismos filamentosos**

El crecimiento de organismos filamentosos es el problema de funcionamiento más frecuente en los procesos de fangos activados. Conduce a la formación de un fango de pobres características de sedimentabilidad. Debido a los bajos niveles de sustrato uniformemente presentes en el reactor, el sistema de mezcla completa de una sola etapa tiene una particular tendencia a promover el crecimiento de filamentos. En algunos

reactores de flujo pistón en los que se produce un efecto considerable de mezclado por retroceso del líquido mezcla tiene lugar un fenómeno parecido.

Para el control de los organismos filamentosos se puede recurrir a los “selectores”, que es la incorporación de un compartimiento separado, como zona de contacto inicial de un reactor biológico, zona en la que se mezclan el influente primario y el fango recirculado.

El selector favorece e crecimiento selectivo de organismos formadores de flóculos en la primera fase del proceso biológico al asegurar un nivel elevado de la carga másica, a concentraciones de oxígeno disuelto controladas. Se recomienda un valor mínimo de 2.27 Kg DBO₅/ Kg SSLM.día

g) Características del efluente

El contenido de materia orgánica es un parámetro de calidad del efluente de gran importancia. El contenido en materia orgánica se puede dividir:

- Materia orgánica soluble biodegradable:
 - Materia orgánica no eliminada en el tratamiento biológico.
 - Compuestos orgánicos formados como productos intermedios en la descomposición biológica del agua residual.
 - Componentes celulares, como consecuencia de la lisis o muerte celular.
- Materia orgánica en suspensión:
 - Sólidos biológicos producidos durante el tratamiento que escapan del proceso en la decantación secundaria.
 - Sólidos orgánicos coloidales presentes en el afluente a la planta que escapan del tratamiento y de la separación.
 - Materia orgánica no biodegradable:
 - Materia inicialmente presente en el influente de la planta.
 - Subproductos de la descomposición biológica.
- Materia orgánica no biodegradable:
 - Materia inicialmente presente en el influente de la planta.
 - Subproductos de la descomposición biológica.

En una planta de fangos activados con un funcionamiento correcto:

- La DBO₅ carbonosa del efluente, en una muestra filtrada, variará entre 2-10 mg/l.
- La materia orgánica suspendida se hallará entre 5-15 mg/l.
- Los sólidos no biodegradables se situarán entre 2-5 mg/l.

Es necesario conocer las características exigidas al efluente depurado. Estas vienen determinadas por los criterios de calidad establecidos en cada caso, referidas normalmente a la DBO₅ y S.S. excepto para los vertidos en zonas sensibles o para usos específicos en las que también se limita el nitrógeno y el fósforo.

En el caso de la planta de Baiña los límites de vertido vienen recogidos en la correspondiente autorización de vertido. En la tabla adjunta se recogen los valores límites autorizados:

Tabla 7. Límites de vertido EDAR Baiña

Parámetro	Límite
pH	6,5 y 9
Demanda bioquímica Oxígeno 5d (DBO ₅)	< 10 mg/l
Materia en suspensión	< 15 mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	< 60 mg/l O ₂
Amonio	< 1,5 mg/l N-NH ₄
Nitrógeno Kjeldahl	< 4 mg/l N
Nitrógeno Total	< 15 mg/l N