

ESTUDIO DEL EFECTO DEL CARBÓN ACTIVO COMO MATERIAL FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO Terciario DE LA EDAR DE ABANILLA (Murcia) COMO ALTERNATIVA A LAS ARENAS DE SÍLEX-ANTRACITA Y EFECTO SOBRE LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Pedro J. Simón Andreu director técnico de la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Murcia, ESAMUR

Carlos Lardín Mifsut técnico de Explotación de la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Murcia, ESAMUR

Antonio V. Sánchez Betrán Director Técnico de RED CONTROL S.L.

José Alfredo López Ruiz Jefe de Planta de la EDAR de Abanilla, RED CONTROL S.L.

RESUMEN

El estudio de los contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales, así como su tratamiento y eliminación de las mismas están siendo objeto de una gran atención en los últimos tiempos, especialmente debido a su ubicua presencia en todo tipo de aguas y sus posibles repercusiones sobre el medio ambiente.

Los contaminantes emergentes son un tipo de contaminantes orgánicos que son introducidos en el medio ambiente, principalmente el medio acuático terrestre y marino, en grandes cantidades. Entre ellos podemos destacar residuos farmacéuticos y fármacos, hormonas, detergentes, productos fitosanitarios, productos de higiene personal (protectores solares, fragancias), estimulantes como la cafeína, etc...

Varias son las tecnologías que se están estudiando e implementando en las estaciones depuradoras de aguas residuales para la eliminación de estos contaminantes emergentes. Entre ellos, se encuentra el carbón activo. El carbón activo de tipo granular, debido a sus características como material altamente poroso y con un área superficial elevada, presenta una gran capacidad de adsorción de un amplio rango de contaminantes, entre los que se incluyen compuestos aromáticos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, disolventes, etc...

Con el presente estudio se pretende conocer su respuesta ante los contaminantes emergentes y posible utilización como tratamiento terciario para la eliminación de estos contaminantes.

ABSTRACT

The study of emerging pollutants present in wastewater, as well as its treatment and elimination, are receiving great attention in recent times, especially due to its ubiquitous presence in all types of water and its possible repercussions on the environment.

Emerging pollutants are a type of organic pollutants that are introduced into the environment, mainly the terrestrial and marine aquatic environment, in large quantities. Among them we can highlight pharmaceutical waste and drugs, hormones, detergents, phytosanitary products, personal hygiene products (sunscreens, fragrances), stimulants such as caffeine, etc ...

Several are the technologies that are being studied and implemented in the wastewater treatment plants for the elimination of these emerging pollutants. Among them is active carbon. Granular-type activated carbon, due to its characteristics as a highly porous material with a high surface area, has a great adsorption capacity for a wide range of pollutants, including aromatics, hydrocarbons, detergents, pesticides, solvents, etc...

The present study aims to know its response to emerging pollutants and possible use as a tertiary treatment for the elimination of these pollutants.

1 - INTRODUCCIÓN

En la práctica totalidad de las aguas residuales tanto de origen urbano, como industrial, están presentes diferentes contaminantes emergentes en concentraciones variables, dependiendo de las actividades que se den en la zona de origen de dichas aguas. Estos contaminantes van desde fármacos, hasta fitosanitarios, sustancias de origen industrial, etc...

Ya en 2015 ESAMUR propició un estudio elaborado por RED CONTROL y enfocado a determinar la presencia de diferentes contaminantes emergentes a lo largo de la línea de agua de determinadas depuradoras de la Región de Murcia, entre las que se encontraba la EDAR de Abanilla. (*Simón Andreu P.J., Lardín Mifsut C., González*

Herrero R., Sánchez Betrán A.V., Vicente González J.A, “Estudio de la presencia de contaminantes emergentes en distintas etapas de depuradoras”, RETEMA sep-oct 2015)

Recientemente, diferentes administraciones están empezando a limitar la presencia de algunos de ellos, si bien se desconoce en gran medida los efectos causados por gran parte de ellos o su abundancia en el medio. Así, en la Directiva 2013/39/UE ya se incluye una tabla en la que se identifican una serie de contaminantes emergentes como sustancias prioritarias e incluso establece límites de emisión para algunos de ellos.

Con el presente estudio se pretende estudiar la efectividad de la utilización del carbón activo en el tratamiento terciario para la eliminación de estos contaminantes emergentes, su rendimiento de eliminación de partículas y rendimiento de mejora de la transmitancia y la turbidez y sus beneficios y deficiencias desde el punto de vista de explotación y manejo.

El estudio se ha llevado a cabo en la depuradora de Abanilla, situada en la Región de Murcia, en la etapa de filtración del tratamiento terciario.

2 - MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 - Área de estudio, material de filtrado y toma de muestras

El estudio se ha llevado a cabo en la EDAR de Abanilla, situada en la provincia de Murcia.

Esta planta tiene un caudal de entrada de 571.080 m³/año y su carga de diseño es de 17.540 h.e. Se trata de una EDAR de tipo biológico mediante sistema de aireación prolongada, con un reactor biológico aireado por oxirrotos y dos clarificadores secundarios. Dispone de un tratamiento terciario mediante filtros de arena abiertos, previos a la desinfección. Respecto a ésta última, inicialmente el agua se desinfectaba mediante una combinación de hipoclorito sódico en dos puntos de la línea de agua tratada junto con lámparas ultravioleta. Paralelamente, desde enero de 2019, se ensayó el efecto del uso de ozono en el agua de cara a la eliminación de patógenos y contaminantes emergentes y, a la vista de los buenos resultados obtenidos con este sistema de desinfección, en julio de 2020 se instaló la planta de ozono de forma definitiva en la EDAR como sistema principal de desinfección, utilizándose el hipoclorito y las lámparas U.V. sólo en casos puntuales. Dada la excelente calidad del efluente, el vertido se emplea principalmente para uso agrícola. El tratamiento de los lodos consiste en espesamiento y deshidratación mecánica mediante dos decantadores centrífugos.

La EDAR de Abanilla dispone de dos filtros de arena de sílice abiertos, con una superficie unitaria de 18,75m² (Figura 1).



Figura-1 Ubicación de los filtros de arena en la EDAR de Abanilla

Para el estudio, se retira la arena de sílice de 1,5 mm. de granulometría presente en uno de los filtros y se sustituye por-carbón activo (Figuras 2 y 3). La cantidad aplicada de carbón fue de 18 m³, para tener una altura de lecho de carbón activo de 1 metro, similar al presente en el filtro de arena de sílice.



Figura-2 Detalle de los filtros de arena



Figura-3 Filtro de arena con el carbón activo empleado en el estudio

El carbón activo se trató de forma similar a la arena de sílice, realizando contra lavados del carbón activo cuando se observa la colmatación del lecho por el aumento del nivel del agua porque se produce un descenso en la velocidad del filtrado del agua a través del carbón activo. Dichos contra lavados se realizan según las indicaciones del fabricante, con los mismos equipos que se realiza la limpieza de la arena de sílice, pero teniendo en cuenta la menor densidad del carbón activo respecto a la arena. Por ello, se introduce agua filtrada anteriormente y almacena en un depósito destinado para este contra lavado mediante una bomba centrífuga sumergible. En la tabla de la figura-4 se muestra un comparativo con las fases y caudales seguidas en el proceso de lavado para ambos materiales.

FASE DE LAVADO	ARENA DE SÍLICE	CARBÓN ACTIVO
Tiempo de reposo antes del lavado	2 minutos	2 minutos
Tiempo de inyección de aire. Caudal de aire de lavado 1.656 Nm ³ /h	15 minutos	-
Tiempo de agua de contralavado. Caudal de contralavado 339 m ³ /h	25 minutos	25 minutos
Tiempo de vaciado del filtro	5 minutos	5 minutos

Figura-4 Fases y caudales para el contra lavado

El carbón activo utilizado para el estudio es un carbón activo de tipo granular fabricado a partir de lignito. A continuación, se detallan las principales características físico-químicas del producto (Figura 5)

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS CARBÓN ACTIVO	
Tamaño de grano	1,25 - 5,0 mm.
Superficie específica	300 m ² /g
Densidad aparente	0,47 t/m ³
Carbono fijo	87,5 % wt
Contenido en agua	0,5 % wt
Contenido en cenizas	9,0 % wt
Componentes volátiles	3,0 % wt
Valor calorífico	29,9 MJ/kg

Figura-5 Características del carbón activo empleado en el estudio

Para el estudio realizaron tomas de muestras puntuales a la entrada y a la salida de los filtros de la EDAR de Abanilla. En el caso del estudio de los contaminantes emergentes, la toma de muestras se realizó en la arqueta previa a la entrada del filtro con carbón activo y en la tubería de salida del mismo filtro. En el caso de los muestreos para comparar el rendimiento del carbón activo frente a la arena de sílice, se han tomado muestras en la arqueta previa a la entrada de ambos filtros y en la tubería de salida de cada uno de los filtros.

Las muestras eran recogidas en envases de cristal opaco de un litro y enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de contaminantes emergentes en neveras refrigeradas.

Para comparar el comportamiento del carbón activo y la arena de sílice, se realizó un análisis de las partículas presentes en el agua antes y después del filtrado según su tamaño, la turbidez y la transmitancia.

Para el estudio de los contaminantes emergentes, se realiza un muestreo del agua tratada por la EDAR tras el tratamiento secundario, a la entrada del filtro de carbón activo, y otra muestra a la salida de dicho filtro, para conocer la presencia de los contaminantes y el rendimiento de eliminación de cada uno de los contaminantes por el carbón activo.

Se realiza un muestreo con una periodicidad quincenal, durante un periodo de 6 meses, por lo que se realiza un total de 12 muestreos.

2.1.- Análisis de los contaminantes emergentes

De forma simultánea, se han estudiado las posibilidades de la filtración mediante carbón activo para la eliminación de contaminantes emergentes presentes en el agua depurada.

Los contaminantes emergentes analizados en el estudio se listan a continuación (Figura 6):

Hormonas y residuos de medicamentos	Plaguicidas
Cloranfenicol, 17β-Estradiol, Estrona, 17α-Ethinylestradiol, Ketorprofeno, Ibuprofeno, Estriol, Sulfomethoxazol, Eritromicina, Carbamezapina, Fluoxetina, Diclofenac, Ofloxacina	Ametrina, Atrazina, Bromacilo, Diurón, Imazalil, Isoproturón, Linurón, Metribuzina, Pirimicarb, Prometón, Prometrina, Propazina, Propizamida, Secbumentón, Simazina, Terbutilazina, Terbutrina, Tiabendazol, Trietazina,

Figura-6 Contaminantes emergentes analizador

La técnica seguida para la determinación de los contaminantes emergentes en aguas ha sido por cromatografía mediante HPLC/MS/MS con enriquecimiento online (Figura 7), analizándolas por inyección directa de la muestra en un sistema de preconcentración online (extracción en fase solida) acoplado a un cromatógrafo de líquidos con detector de masas triple cuadrupolo.



3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- Parámetros físico-químicos

En referencia a los parámetros físico-químicos, durante el estudio se han seguido los sólidos suspendidos, turbidez y transmitancia con cada uno de los materiales filtrantes probados (carbón activo vs arena de sílice).

Tal y como se puede ver en la tabla de la figura 8, en lo referente a los sólidos suspendido, Los rendimientos son superiores empleando el carbón activo frente al sílex, aunque en lo que respecta a la turbidez, es algo mejor con la arena de sílice.

Sin embargo, donde se ve una clara ventaja del carbón activo frente al sílex es en el caso de la transmitancia, donde el rendimiento obtenido con el carbón casi duplica al de la arena de sílice.

QUIN CENA	SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)					TURBIDEZ (NTU)					TRANSMITANCIA (%)				
	Entrada	Salida C.A.	Salida Si	Rdto (%) C.A.	Rdto (%) Si	Entrada	Salida C.A.	Salida Si	Rdto (%) C.A.	Rdto (%) Si	Entrada	Salida C.A.	Salida Si	Rdto (%) C.A.	Rdto (%) Si
1ª	10,00	5,00	6,00	50,00%	40,00%	6,21	3,40	4,30	45,25%	30,76%	70,56%	82,50%	72,15%	16,93%	2,26%
2ª	9,00	4,00	6,00	55,56%	33,33%	7,14	3,12	3,56	56,30%	50,14%	61,64%	73,52%	64,50%	19,28%	4,65%
3ª	7,00	4,00	4,00	42,86%	42,86%	7,96	2,82	3,12	64,57%	60,80%	55,05%	72,69%	62,90%	32,06%	14,27%
4ª	8,00	5,00	5,00	37,50%	37,50%	13,34	6,69	2,15	49,85%	83,88%	65,44%	73,03%	67,57%	11,60%	3,26%
5ª	10,00	5,00	7,00	50,00%	30,00%	9,98	5,00	4,28	49,90%	57,11%	67,23%	73,38%	68,76%	9,16%	2,28%
6ª	13,00	6,00	5,00	53,85%	61,54%	10,49	5,91	6,09	43,66%	41,94%	63,60%	69,26%	71,18%	8,90%	11,92%
7ª	9,00	6,00	7,00	33,33%	22,22%	7,91	3,84	6,26	51,45%	20,86%	64,07%	66,73%	68,74%	4,15%	7,28%
8ª	13,00	6,00	6,00	53,85%	53,85%	4,82	2,60	2,62	46,06%	45,64%	70,61%	75,64%	72,36%	7,12%	2,47%
9ª	9,00	7,00	6,00	22,22%	33,33%	6,14	2,08	2,42	66,12%	60,59%	65,87%	68,99%	70,79%	4,74%	7,48%
10ª	9,00	5,00	6,00	44,44%	33,33%	4,83	3,19	1,94	33,95%	59,83%	65,61%	72,59%	72,59%	10,64%	10,64%
media	9,70	5,30	5,80	44,36%	38,80%	7,88	3,87	3,67	50,71%	51,16%	64,97%	72,83%	69,15%	12,46%	6,65%

Figura-8 Tabla de resultados de parámetros físico-químicos

3.1.- Contaminantes emergentes

Como se ha detallado anteriormente, se ha llevado a cabo un análisis de 32 contaminantes emergentes. De estos, solo había presencia en el agua estudiada de 12 de estos compuestos: Carbamazepina, Diclofenac, Diuron, Eritromizina, Fluoxetina, Ibuprofeno, Imazalil, Ketorprofeno, Ofloxacina, Sulfamethoxazol, Terbutrina y Tiabendazol (Figura-9). Del resto no se encontró presencia en el agua en ninguno de los 12 muestreos realizados, por lo que no se presentarán en las tablas y gráficas de resultados.

Hormonas y residuos de medicamentos	Plaguicidas
PRESENTES	PRESENTES
Ketorprofeno, Ibuprofeno, Sulfomethoxazol, Eritromicina, Carbamezapina, Fluoxetina, Diclofenac, Ofloxacina	Diurón, Imazalil, Terbutilazina, Tiabendazol
NO PRESENTES	NO PRESENTES
Cloranfenicol, 17β-Estradiol, Estrona, 17α-Ethinylestradiol, Estriol	Ametrina, Atrazina, Bromacilo, Isoproturón, Linurón, Metribuzina, Pirimicarb, Prometón, Prometrina, Propazina, Propizamida, Secbumentón, Simazina, Terbutrina, Trietazina

Figura-9 Listado de contaminantes emergentes detectados y no detectados en las aguas de Abanilla durante los muestreos realizados para el presente estudio

A continuación, se presenta los resultados con las concentraciones de los contaminantes emergentes presentes en el agua tratada a la entrada y a la salida del tratamiento con carbón activo, así como el rendimiento de eliminación de cada uno de ellos (Figura 10).

num	Carbamazepina (ug/l)			Diclofenac (ug/l)			Diuron (ug/l)			Eritromicina (ug/l)		
	> 0,05 (ug/l)			> 0,01 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)		
	2 - HPLC/MS			2 - HPLC/MS			3 - HPLC/MS-MS			2 - HPLC/MS		
	anticonvulsivo			antiinflamatorio			herbicida			antibiótico		
	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)
1	0,105	0,024	76,80	0,36637	0,14521	60,36	0,00000	0,00000	-	0,02266	0,01095	51,68
2	0,141	0,026	81,84	0,84739	0,20340	76,00	0,07000	0,00000	100,00	0,00717	0,00373	47,98
3	0,150	0,063	57,84	0,81782	0,35080	57,11	0,05700	0,00000	100,00	0,01213	0,00000	100,00
4	0,276	0,105	61,85	0,78774	0,45556	42,17	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-
5	0,182	0,085	53,25	0,91002	0,36740	59,63	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-
6	0,174	0,099	42,92	0,63590	0,44220	30,46	0,00000	0,00000	-	0,02712	0,01631	39,86
7	0,116	0,084	27,84	0,29928	0,27741	7,31	0,00000	0,00000	-	0,01324	0,01003	24,27
8	0,145	0,163	0,00	0,41170	0,47002	0,00	0,00000	0,00000	-	0,00840	0,00860	0,00
9	0,177	0,138	22,04	0,21150	0,24190	0,00	0,00000	0,00000	-	0,01340	0,01120	16,42
10	0,189	0,110	41,81	0,48051	0,28310	41,08	0,00000	0,00000	-	0,02060	0,01130	45,15
11	0,163	0,092	43,55	0,41110	0,05363	86,95	0,00000	0,00000	-	0,02317	0,01185	48,86
12	0,232	0,163	29,78	0,50520	0,07690	84,78	0,02554	0,02153	15,72	0,01460	0,00000	100,00
PROMEDIO	0,17084	0,09605	49,05	0,55704	0,28063	54,58	0,05085	0,02153	71,91	0,01625	0,01050	52,69

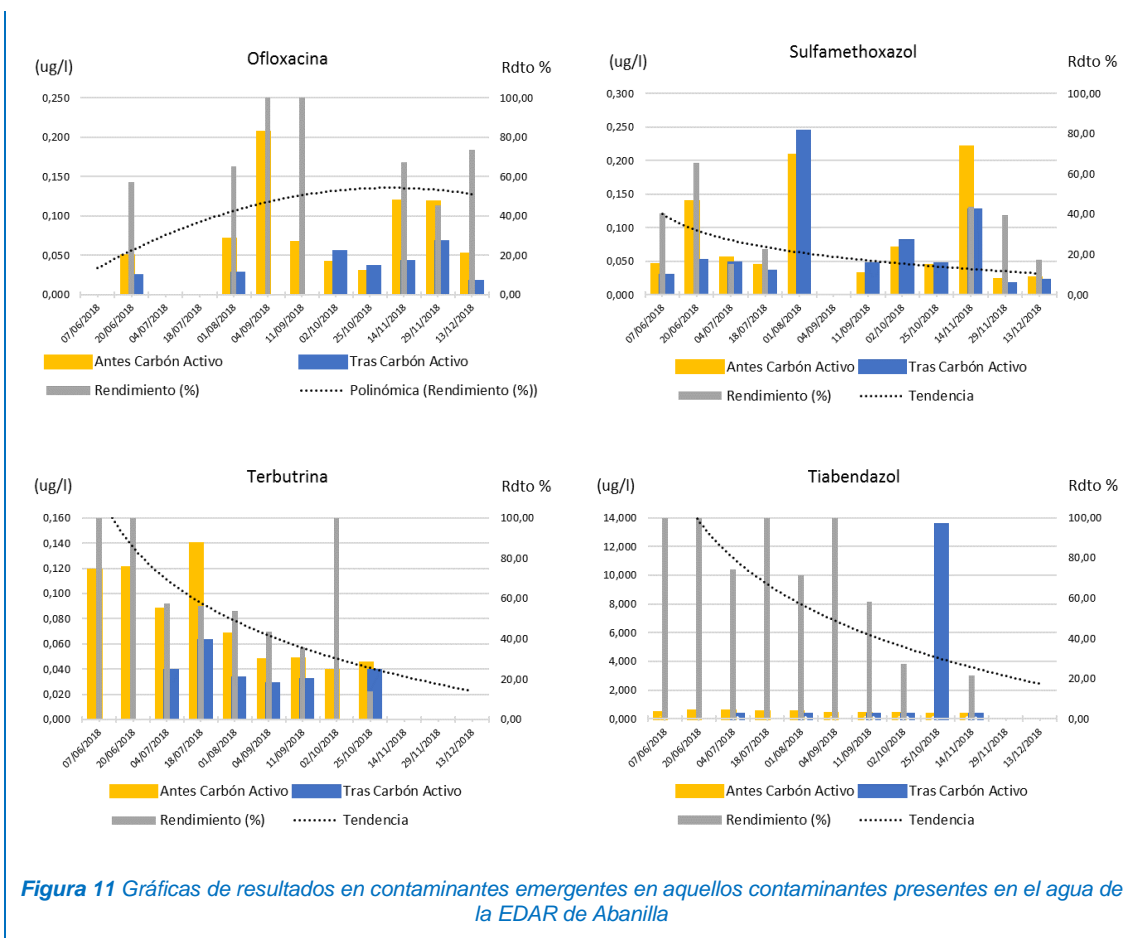
num	Fluoxetina (ug/l)			Ibuprofeno (ug/l)			Imazalil (ug/l)			Ketorprofeno (ug/l)		
	> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)		
	2 - HPLC/MS			1 - HPLC/MS-MS			3 - HPLC/MS-MS			1 - HPLC/MS-MS		
	antidepresivo			antiinflamatorio			fungicida			antiinflamatorio		
	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)
1	0,00000	0,00000	-	0,51675	0,05205	89,93	3,28120	0,34000	89,64	0,10920	0,00000	100,00
2	0,00910	0,00228	74,99	0,26738	0,16420	38,59	4,32820	0,50000	88,45	0,00000	0,00000	-
3	0,01754	0,00000	100,00	0,00000	0,16100	0,00	2,11500	0,62410	70,49	0,00000	1,48700	0,00
4	0,01463	0,00000	100,00	0,45470	0,31256	31,26	1,47530	0,36750	75,09	4,11870	0,23510	94,29
5	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-	0,59510	0,21730	63,49	0,00000	0,00000	-
6	0,00000	0,00000	-	0,39071	0,00000	100,00	0,28100	0,11370	59,54	0,09261	0,00000	100,00
7	0,11662	0,00000	100,00	0,00000	0,00000	0,00	0,23960	0,12650	47,20	0,00000	0,00000	-
8	0,00630	0,00840	0,00	0,47730	0,24220	49,26	0,54980	0,40300	26,70	0,00000	0,00000	-
9	0,00000	0,03740	0,00	0,00000	0,00000	-	0,26210	0,30030	0,00	0,00000	0,00000	-
10	0,01040	0,00610	41,35	0,00000	0,00000	-	0,11900	0,08510	28,49	0,04210	0,04460	0,00
11	0,01185	0,00000	100,00	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-
12	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,15380	0,00	0,16970	0,08326	50,94	0,06558	0,13900	0,00
PROMEDIO	0,02663	0,01354	86,06	0,42137	0,18097	61,81	1,21964	0,28734	60,00	0,88564	0,47643	98,10

num	Ofloxacina (ug/l)			Sulfamethoxazol (ug/l)			Terbutrina (ug/l)			Tiabendazol (ug/l)		
	> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)			> 0,05 (ug/l)		
	2 - HPLC/MS			2 - HPLC/MS			3 - HPLC/MS-MS			3 - HPLC/MS-MS		
	antibiótico			antibiótico			herbicida			fungicida		
	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)	antes CA	tras CA	Rdto (%)
1	0,00000	0,00000	-	0,03880	0,02313	40,39	0,11560	0,00000	100,00	0,19760	0,00000	100,00
2	0,04468	0,01903	57,40	0,13270	0,04572	65,54	0,11730	0,00000	100,00	0,26690	0,00000	100,00
3	0,00000	0,00000	-	0,04862	0,04107	15,52	0,08470	0,03580	57,73	0,28080	0,07200	74,36
4	0,00000	0,00000	-	0,03752	0,02897	22,79	0,13670	0,05940	56,55	0,19930	0,00000	100,00
5	0,06564	0,02274	65,36	0,20220	0,23818	0,00	0,06510	0,03010	53,76	0,21020	0,05990	71,50
6	0,20180	0,00000	100,00	0,00000	0,00000	-	0,04460	0,02510	43,72	0,09680	0,00000	100,00
7	0,06119	0,00000	100,00	0,02585	0,03995	0,00	0,04480	0,02870	35,94	0,12950	0,05400	58,30
8	0,03560	0,04940	0,00	0,06440	0,07440	0,00	0,03600	0,00000	100,00	0,08870	0,06440	27,40
9	0,02470	0,03120	0,00	0,03740	0,04070	0,00	0,04150	0,03570	13,98	0,06630	13,24010	0,00
10	0,11400	0,03710	67,46	0,21510	0,12100	43,75	0,00000	0,00000	-	0,07090	0,05550	21,72
11	0,11331	0,06193	45,34	0,01697	0,01023	39,70	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-
12	0,04655	0,01223	73,73	0,01960	0,01620	17,35	0,00000	0,00000	-	0,00000	0,00000	-
PROMEDIO	0,07861	0,03338	72,76	0,07629	0,06178	35,01	0,07626	0,03580	62,41	0,16070	2,25765	72,59

Figura 10 Tablas de resultados en contaminantes emergentes en aquellos contaminantes presentes en el agua de la EDAR de Abanilla

En las gráficas de la figura-11 se compara la concentración de contaminantes emergentes presente en el agua tratada en el filtro de carbón activo antes y después de su paso a través de este carbón activo durante todo el periodo de muestreo, así como el rendimiento de eliminación en el caso de que se haya producido dicha eliminación y la tendencia de eliminación en estos diferentes muestreos.





Como se puede apreciar en las gráficas, para los 12 compuestos presentes, Carbamazepina, Diclofenac, Diuron, Eritromizina, Fluoxetina, Ibuprofeno, Imazalil, Ketorprofeno, Ofloxacina, Sulfamethoxazol, Terbutrina y Tiabendazol, el carbón activo elimina en porcentaje muy alto de la concentración en los muestreos iniciales, pero como era de esperar este rendimiento en la eliminación va disminuyendo con el tiempo.

Para los compuestos como carbamazepina, Imazalil, Terbutrina y Tiabendazol, los rendimientos de eliminación son superiores al 80% en los primeros muestreos, y descienden hasta un 20% de rendimiento en los últimos muestreos, seis meses después.

Los compuestos Diclofenac y Eritromicina tiene un descenso menos acusado en el rendimiento de eliminación, llegando a tener un rendimiento de eliminación al final del muestreo de una media de un 40%, teniendo incluso en el último muestreo rendimientos de eliminación superiores al 80%.

En el Imazalil y en el Tiabendazol se observa claramente como los porcentajes de eliminación de estos compuestos por el carbón activo disminuyen con el paso del tiempo.

3.2.- Costes de explotación

De forma paralela al estudio analítico se realizó un análisis de los costes de explotación del filtrado por carbón activo frente al filtrado original por arenas de sílice. Cabe señalar que estos costes no son del todo comparables dado que, a la capacidad de filtración mecánica que tienen ambos materiales, hay que sumar la capacidad de adsorción para determinados contaminantes y compuestos químicos que únicamente tiene el carbón activo.

A continuación, se realizará una comparativa entre el carbón activo en cuanto a términos de explotación.

- Se ha valorado tanto el coste del material filtrante (carbón activo y arena de sílice) así como los costes de gestión tras su agotamiento.
- También se han controlado las necesidades en cuanto al número de contralavados y estimado el consumo eléctrico asociado a estos contra lavados. El lavado del carbón activo no se realiza con aire, por lo que solo se tiene en cuenta el coste de la bomba de contra lavado.
- Y se ha considerado también la eventual pérdida de material durante los ciclos de limpieza, así como las necesidades de atención por parte del personal de planta.

- Por último, se han comparado una serie de parámetros que también se han ido controlando durante el estudio y que son los sólidos suspendidos del efluente filtrado, su turbidez y la transmitancia obtenida.

Todo esto queda resumido en la tabla de la figura-12.

COSTE MATERIAL FILTRANTE		Carbón Activo	Arena de Sílice
Volumen material filtrante	m3	18,00	18,00
Coste material filtrante	€	8.748,00	1.625,00
Coste gestión tras retirada como RNP	€	1.000,00	0,00
TOTAL COSTES MATERIAL FILTRANTE (6 meses)		9.748,00 €	1.625,00 €
COSTE ENERGÉTICO CONTRALAVADOS		Carbón Activo	Arena de Sílice
Contralavados de limpieza en 6 meses		19,00	28,00
Días entre lavados	días	8,70	7,00
Se emplea aire en el contralavado		No	Si
Consumo energético para soplante por lavado	kwh	0,00	9,25
Consumo energético bomba contralavado por lavado	kwh	7,71	7,71
Consumo energético total por contralavado	kwh	7,71	16,96
Consumo en contralavados en 6 meses	kwh	146,46	474,83
COSTE ESTIMADO ENERGÍA (6 meses)		16,11 €	52,23 €
COSTE ESTIMADO PARA 6 MESES		9.764,11	1.677,23

CONSIDERACIONES		Carbón Activo	Arena de Sílice
pérdida de material durante contralavados		no se aprecia	no se aprecia
dedicación personal		similar	similar
vida útil material filtrante según resultados del estudio		< 1 año	> 10 años

Figura 12. Comparativa de costes de la filtración mediante carbón activo vs arena de sílice

En base a los costes para 6 meses y el caudal tratado en la EDAR en este periodo (en torno a 350.000m³/6 meses), se obtendrían los ratios siguientes:

- Filtración con Carbón Activo.....0,027897 €/m³
- Filtración con Arena de Sílice.....0,004792 €/m³

4.- ELIMINACIÓN EMERGENTES CON CARBÓN ACTIVO FRENTE A OZONO

RED CONTROL ha realizado en el pasado otros estudios enfocados a determinar diferentes técnicas para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas, todos ellos hechos en colaboración con ESAMUR, entre los que se incluyen ensayos por medio de la aplicación de ozono en el efluente mediante una planta prefabricada de O₃ que, debido a los buenos resultados obtenidos, se encuentra actualmente en servicio en la EDAR de Abanilla. (Simón Andreu P.J, Lardín Mifsut C., Sánchez Betrán A.V., López Ruiz J.A., “Estudio del efecto de la dosificación de ozono sobre los contaminantes emergentes en el efluente de la EDAR de Abanilla en Murcia”, Aguasresiduales.info 2020)

De entre todos, los mejores resultados se han obtenido mediante la utilización de ozono aplicado al efluente de la depuradora.

En la tabla de la figura 13 se muestra un comparativo con los rendimientos obtenidos tanto con el ozono, frente a los obtenidos mediante el uso de carbón activo.

	Carbamazepina	Diclofenac	Diuron	Eritromicina	Fluoxetina	Ibuprofeno	Imazalil	Ketoprofeno	Oxfloxacina	Sulfamethoxazol	Terbutrina	Tiabendazol
	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)	Rdto (%)
PROMEDIO OZONO	100,00	99,83	100,00	100,00	-	94,04	99,76	100,00	100,00	82,43	-	100,00
PROMEDIO CARBÓN ACTIVO	49,05	54,58	71,91	52,69	86,06	61,81	60,00	98,10	72,76	35,01	62,41	72,59

Figura 13. Comparativo del rendimiento de eliminación de contaminantes emergentes con Ozono y con Carbón Activo

Se aprecia claramente como los rendimientos obtenidos mediante el uso del ozono son muy superiores a los obtenidos con el carbón activo para los mismos contaminantes. Aparecen dos contaminantes (Fluoxetina y Terbutrina) que no fueron detectados durante el ensayo con Ozono y que sí que han aparecido durante la prueba con carbón activo.

Así, pese a que con el carbón activo se obtienen unos rendimientos positivos en cuanto a la eliminación de contaminantes emergentes, éstos son mucho más elevados en el caso del ozono, donde se llega a eliminar el 100% del parámetro analizado en la mayoría de los casos.

En lo que se refiere específicamente a los costes de operación, en el caso del ozono vienen dados principalmente por el consumo eléctrico de los elementos que componen la planta de generación de O₃ y por los costes anuales de mantenimiento.

A continuación, se indica el ratio en €/m³ estimado para la eliminación de contaminantes emergentes con la planta de ozono, frente al obtenido mediante filtración por carbón activo:

- Tratamiento con Ozono (O₃) 0,037958 €/m³
- Tratamiento mediante Carbón Activo 0,027897 €/m³

Nota: Este ratio no tiene en cuenta el coste de adquisición e instalación de la planta de ozono, sino únicamente su explotación.

Como se puede apreciar, el coste de la eliminación de emergentes mediante O₃ es superior frente al carbón activo. Aun así, el uso del ozono tiene ventajas añadidas sobre la desinfección, incluyendo la eliminación de esporas de Clostridium, y una substancial mejora en la turbidez del agua.

5.- CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado se extraen las conclusiones siguientes:

- De los 32 contaminantes emergentes estudiados para comprobar su eliminación por el carbón activo, solo se ha encontrado concentraciones significativas de 12 de ellos. La presencia de los compuestos analizados no es uniforme en todos los muestreos, y hay compuestos que aparecen en algunos muestreos y no se detecta su presencia en otros.
- Para la eliminación de los compuestos emergentes, se observa como los porcentajes de eliminación de los compuestos van disminuyendo con el paso del tiempo, lo que indica que se va produciendo un agotamiento del material y por lo tanto una saturación del carbón activo.
- En el caso de los sólidos suspendidos y la transmitancia, el rendimiento del carbón activo es claramente superior frente a la filtración por sílex, especialmente en ésta última, cuyos rendimientos de reducción llegan casi al doble de los obtenidos con la arena de sílice. No obstante, en lo referente a la turbidez, los resultados son semejantes con ambos materiales.
- El coste de adquisición del carbón activo ha sido mayor que la arena de sílice. Al coste antes comentado del material, hay que incluir los costes de retirada y su gestión como RNP y la menor durabilidad del carbón frente a la arena. Por lo tanto, el coste del carbón activo es muy superior al de la arena de sílice.
- El estudio de contaminante emergentes se realizó durante seis meses. Pero tras este periodo, el carbón activo se mantuvo durante 12 meses más en los que se pudo ver que, si bien el rendimiento en la eliminación de emergentes ya había bajado a un 40% en el mejor de los casos, respecto a los SS, Turbidez y Transmitancia los resultados eran similares a los del filtro de arena de control.
- Comparando el efecto de eliminación de emergentes frente al efecto del ozono sobre estos mismos contaminantes se aprecia como el rendimiento obtenido con el carbón activo es sensiblemente inferior al obtenido con el ozono, que llega a ser prácticamente del 100% en la mayoría de los contaminantes detectados. Aún así, el coste del carbón es menor que el del ozono, por lo que, unido a unos rendimientos aceptables, no conviene descartarlo como sistema de eliminación de contaminantes emergentes en aguas.
- Frente a otros sistemas empleados, como es principalmente el tratamiento con ozono en agua, los rendimientos del carbón activo son inferiores a los obtenidos con el O₃, si bien el coste de implantación de este último y de posterior explotación son superiores.