



**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ  
Y  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA  
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS  
(Modalidad semipresencial)**

**EFFECTO DE MICROPLÁSTICOS Y NANOPLÁSTICOS  
SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE REACTORES  
BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES**

**AUTORA  
Serena Giorgia Perazzo**

**DIRECTORA  
Dr. Ana Karina Boltes Espínola (UAH)**

Alcalá de Henares, 21 Septiembre 2021

## **ÍNDICE**

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>4. PLÁSTICOS.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Tipos de plásticos .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Reciclaje de los plásticos .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Caracterización y clasificación de los microplásticos...12</b>	
<b>4.4 Efectos de los plásticos.....</b>	<b>14</b>
4.4.1 Efectos de los micro/nanoplásticos en el medioambiente.....	14
4.4.2 Efectos de los micro/nanoplásticos en las EDAR.....	15
<b>4.5 Eliminación de los plásticos.....</b>	<b>18</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 Efectos de los micro y nanos plásticos en el tratamiento     secundario o biológico de aguas residuales.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 Efectos en reactores biológicos aerobios.....</b>	<b>21</b>
<b>5.3 Efectos en reactores biológico anaerobios.....</b>	<b>31</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de las líneas de una EDAR	
<b>Figura 2.</b> Reactor de digestión aeróbico.....	11
<b>Figura 3.</b> Reactor de digestión anaerobio UASB.....	11
<b>Figura 4.</b> Digestor anaerobio de fangos/ ejemplo de lodos secos...	13
<b>Figura 5.</b> Bolsas y envases de detergentes de PE.....	16
<b>Figura 6.</b> Telas poliéster .....	17
<b>Figura 7.</b> Botellas de PET.....	17
<b>Figura 8.</b> Hilos de Nylon.....	18
<b>Figura 9.</b> Tuberías de PV.....	18
<b>Figura 10.</b> Códigos de reciclaje.....	19
<b>Figura 11.</b> Definición del tamaño de los micro/nano plástico según diferentes autores.....	20
<b>Figura 12.</b> Imagen de MPs en un pez.....	21
<b>Figura 13.</b> Imágenes FTIR de microplásticos encontrados en diferentes EDAR.....	27
<b>Figura 14.</b> Diagrama concentración PS-NPs vs OUR.....	30
<b>Figura 15.</b> Diagrama concentración PS-NPs vs OURen.....	31
<b>Figura 16.</b> Imágenes microscopía óptica de flóculos finos .....	31
<b>Figura 17.</b> Imágenes SEM de los lodos activos con diferentes concentraciones de PS-NPs.....	32
<b>Figura 18.</b> Diagrama concentración PS-NPs vs tamaño flóculos..	33

<b>Figura 19.</b> Distribución bacteria viva/muerta a diferentes concentraciones.....	33
<b>Figura 20.</b> Oxidación del Nitrógeno amoniacal.....	34
<b>Figura 21.</b> Reducción del Nitrato.....	35
<b>Figura 22.</b> Lodo granular aerobio (AGS).....	36
<b>Figura 23.</b> Microesferas de Polietileno.....	37
<b>Figura 24.</b> Crecimiento de biomasa en un SBR.....	38
<b>Figura 25.</b> Biomasa imagen 100x.....	38
<b>Figura 26.</b> Esquema de un reactor UASB.....	39
<b>Figura 27.</b> Curvas de producción de metano.....	40
<b>Figura 28.</b> Curvas de producción de metano.....	41
<b>Figura 29.</b> Abundancia de bacterias en el reactor anaerobio.....	41
<b>Figura 30.</b> Producción de Metano.....	42
<b>Figura 31.</b> Morfología de AGS imagen SEM antes y después de la exposición a los NPs-PS.....	42
<b>Figura 32.</b> Abundancia de bacterias en el reactor anaerobio.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Abundancia de plásticos más comunes en una EDAR....	15
<b>Tabla 2.</b> Tipos de polímeros, abreviación, densidad, aplicación y abundancia en el agua residual que se encuentran en las EDAR...	23
<b>Tabla 3.</b> Afluente y Efluente concentración de los microplásticos en los diferentes tratamientos de la EDAR ( <i>Sun et al. 2019</i> ).....	26
<b>Tabla 4.</b> Tabla de resumen de los efectos de MPs y NPs en Reactores Biológicos.....	44

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AGS: Lodo Granular Aerobio

ATP: Adenosín Trifosfato

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

EPS: Sustancias Poliméricas Extracelulares

FTIR: Infrarrojo con Transformada de Fourier

MBBR: Biorreactor Lecho Móvil

MBR: Reactor Biológico con Membranas

MLSS: Máximo estado estable del lactato

MPs: Microplásticos

NIR: Nitrito Reductasa

NOR: Nitrito Oxidorreductasa

NPs: Nanoplásticos

NR: Nitrato Reductasa

OURen: Velocidad de Respiración Endógena

PA: Poliamida (Nylon)

PE: Polietileno

PES: Poliéster

PET: Polietileno Tereftalato

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

SBR: Reactor Biológico Secuencial

SEM: Microscopia Electrónica de Barrido

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket

XPS: Espectroscopia de Fotoelectrones

## 1. RESUMEN

A partir de los años 50 los productos fabricados con plástico se han desarrollado rápidamente y sus desechos se están convirtiendo en un problema cada vez más difícil de gestionar.

En la última década la presencia de microplásticos y nanoplásticos en el medioambiente ha ido en aumento, generando una gran preocupación.

Los MPs y NPs de hecho, no pueden ser reabsorbidos por el medioambiente lo que conlleva a que tienden a acumularse, causando efectos dañinos en los ecosistemas.

En el 2016 algunos científicos comenzaron a catalogar los microplásticos que llegaban a las EDAR y años posteriores comenzó el estudio de cómo estos polímeros pueden impactar en los diferentes procesos de las EDAR, reduciendo su eficiencia y la calidad de las aguas.

Diversos estudios han evidenciado que los MPs y NPs podrían afectar la reproducción de las bacterias y algunos procesos realizados por estas.

El presente trabajo pretende organizar y resumir los resultados obtenidos hasta ahora de los efectos generados por los MPs y NPs en los reactores biológicos de las EDAR.



## 2. INTRODUCCIÓN

Hoy día los plásticos son sin duda los materiales más usados en la vida cotidiana. Solo en el 2018 se han producido 320 millones de toneladas de plástico en todo el mundo (*Wei et al.; 2019*). Debido a su bajo coste y versatilidad, los plásticos han reemplazado a la mayoría de los objetos que antiguamente eran hechos con otros tipos de materiales como vidrio, papel y tejido.

En los últimos años, el aspecto que más preocupa a los científicos es la eliminación de los plásticos una vez finalizado su uso, ya que solo una pequeña parte de ellos es reciclada y la parte restante acaba en el medioambiente donde emplea cientos de años en descomponerse. (*Toledo Martínez;2019*)

Con el tiempo, los materiales plásticos que se dispersaron en el medio ambiente, sufren procesos químicos, biológicos y físicos que provocan una fragmentación de estos, generando microplásticos (MPs), que a su vez generan nanoplasticos (NPs), (*Pinto da Costa et al.- Cap1*).

Análisis de aguas en varios países del mundo han revelado un alto contenido de MPs y NPs en ríos, lagos, océanos y plantas de tratamiento de aguas residuales. Un problema asociado a la eliminación de los plásticos en el medioambiente es su diversidad, ya que se tratan de polímeros diferentes. Los microplásticos se han convertido en un problema mundial debido a sus efectos adversos sobre los ecosistemas (*Li et al. 2020*).

Por lo que respecta a las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), varios estudios han demostrado que las estaciones EDAR juegan un papel importante en la liberación de microplásticos en el medio ambiente (*Sun et al. 2018*), debido a que los MPs y NPs no son retenidos completamente durante los procesos de tratamiento del agua, además recientes estudios afirman que los NPs en las

depuradoras podrían causar algunos efectos negativos sobre las bacterias presentes en los reactores biológicos y comprometer la calidad de las aguas.

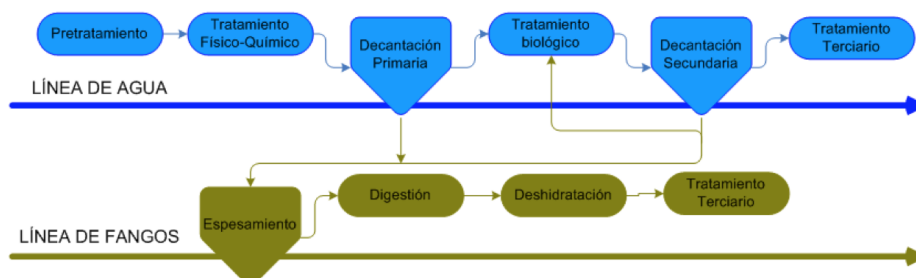
Este trabajo hace una revisión sobre diferentes tipos de polímeros plásticos encontrados en las aguas residuales, sus tamaños y los efectos que generan estos plásticos en una estación depuradora de aguas residuales, en particular en la fase del tratamiento biológico o tratamiento secundario.

## 2.1 Estación Depuradora de Aguas Residuales

Una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) es una instalación industrial que se encarga de recoger y tratar las aguas residuales domésticas e industriales. En la EDAR, se aplican tratamientos físicoquímicos y biológicos que permiten eliminar los contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (arena, aceite y grasa, plásticos etc.) presentes en el agua para que esta pueda ser reintroducida en el medio ambiente respetando las normas vigentes de los vertidos.

## 2.2 Tipos de tratamientos

Los tratamientos a los que se somete el agua en una depuradora son el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y el tratamiento terciario. En algunas EDAR puede estar presente la línea de Fangos (Fig.1).



**Figura 1.** Esquema de las líneas de una EDAR (Hernández-Muñoz et al. 1995)

La fase del pretratamiento y tratamiento primario incluye un desbaste cuya función es la eliminación de material voluminoso, ramas, botes, plásticos y tejidos, un desarenado que se encarga de eliminar la arena y un desengrasado que elimina las grasas y el aceite. Al final de esta operación el agua pasará por el decantador primario. A continuación, el agua es sometida a un tratamiento biológico o secundario cuya función es eliminar la materia orgánica presente en el agua mediante la acción de microorganismos.

El proceso de digestión puede ser de tipo aeróbico o de tipo anaerobio, según la concentración de materia orgánica a tratar y la disponibilidad de oxígeno. Los reactores donde se realiza la digestión pueden ser abiertos en el caso de la digestión aeróbica (Fig.2) o reactores cerrados en el caso de la digestión anaerobia (Fig.3).



Fig.2 Reactor de digestión aeróbico



Fig.3 Reactor de digestión anaerobio UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

La digestión aeróbica puede realizarse con cultivos en suspensión (lodos activados), que utiliza un sistema de inyección continua de oxígeno o con cultivos fijos donde los microorganismos son inmovilizados en la superficie de un material inerte. En el proceso aerobio de lodos activos (el más empleado a escala mundial en las EDAR) el agua residual se pone en contacto con una población densa de microorganismos que se encargan de degradar la materia orgánica presente en el agua. Los fangos generados por este tratamiento deben ser separados del agua por medio de un decantador que los acumula en el fondo de donde serán removidos y transportados a la línea de fangos para proceder a su estabilización y evacuación. Una pequeña parte de estos fangos recirculará a la entrada del reactor para mantener una concentración de biomasa activa.

La digestión anaerobia es un proceso bastante lento que se utiliza principalmente en las EDAR que tratan grandes cantidades de materia orgánica, como por ejemplo las EDAR industriales, además el tratamiento anaerobio, con un reactor diferente, se utiliza para la reducción de los fangos provenientes de la línea aerobia de tratamiento de aguas. Este proceso de digestión, está constituido por varias fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis.

El agua limpia obtenida en la línea de aguas de la EDAR puede sufrir un último tratamiento o tratamiento terciario, que consiste en una serie de tratamientos fisicoquímicos (coagulación, floculación, decantación y desinfección) que tienen como objetivo descontaminar el agua de los patógenos para poder darle otro empleo, como el riego.

### **2.2.1 Línea de fangos de una EDAR**

Los lodos que se han generado en el tratamiento biológico pasan a una línea llamada línea de fangos que tiene como objetivo la reducción del volumen de agua de los lodos.

Estos fangos son sometidos a un tratamiento que sigue varias fases: una fase de espesamiento (para la reducción del volumen de agua), digestión anaerobia (para la reducción de materia orgánica, fig.4) y una última fase de deshidratación. El propósito es dar un segundo uso a los lodos secados como por ejemplo abono para la agricultura, además en esta etapa se genera metano que puede ser reutilizado.



Fig.4 Arriba digestor anaerobio de fangos, abajo un ejemplo de lodos secados (Foto Depuradora URJC)

### **3.OBJETIVOS**

Los objetivos que se han establecido para este proyecto son dos:

- 1.** Hacer una clasificación sobre la composición y el tamaño de los materiales plásticos que se encuentran en una EDAR.
- 2.** Hacer una revisión bibliográfica de los efectos que causan los microplásticos y los nanoplásticos en la fase de tratamiento biológico aeróbica y anaerobia en una Estación Depuradora de Aguas Residuales.
- 3.** Hacer un resumen del tamaño, del tipo de polímeros de MPs y NPs y de los efectos que causan a las bacterias.

## 4. PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales obtenidos artificialmente mediante una transformación química de sustancias de origen orgánico (*Austín Espinosa, 2014*).

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) define los plásticos como un término genérico utilizado en el caso del “material polimérico que puede contener otras sustancias para mejorar el rendimiento y/o reducir costes” (*Pinto da Costa et al. 2016*).

El plástico es un material versátil que se puede fabricar para múltiples aplicaciones, haciendo su uso inevitable en la vida moderna (*Simón et al, 2018*).

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas en forma de cadenas poliméricas formadas por moléculas más pequeñas denominadas monómeros (*Toledo y Martínez, 2019*).

### 4.1 Tipos de plásticos

Las plantas de tratamiento de agua residuales nos pueden ofrecer información de los plásticos más utilizados en la vida cotidiana ya que muchos de los desechos de estos llegan a ellas. La tabla 1 ilustra los porcentajes de plásticos más comunes que llegan en una Estación Depuradora de Aguas Residuales.

**Tabla 1.** Abundancias de plásticos más comunes en una EDAR (*Enfrin et al. 2019*)

MATERIAL	ABUNDANCIA EDAR
Polietileno	45%
Polipropileno	21%
Poliéster	16%
Polietileno Tereftlatato	7%
Poliestireno	6%
Poliamida	5%

Los plásticos proceden de recursos naturales: petróleo, gas natural, carbón y sal común.

### **Polietileno (PE)**

Polímero compuesto de una cadena de átomos lineal de carbono e hidrógeno, es uno de los materiales plásticos más económico y simple de fabricar. Existen dos tipos de polietileno, de baja densidad y de alta densidad. Los de baja densidad son usados mayoritariamente para la producción de bolsas plásticas, el PE de alta densidad se utiliza para la producción de contenedores herméticos, tubos, espumas y envases para detergentes.



(a)



(b)

Fig. 5 Bolsas de PE a baja densidad (a) y envases de detergentes PE de alta densidad(b)

### **Polipropileno (PP)**

El PP es un termoplástico de bajo coste de producción utilizado a partir de los años 50. Tiene múltiples empleos: textiles, envases y usos médicos.



### **Poliéster (PES)**

El poliéster es un tipo de resina plástica que se obtiene siempre del carbono. Es un termoplástico y se utiliza principalmente en la industria textil.



Fig.6 Tela de poliéster

### **Polietileno Tereftalato PET**

Es un plástico con elevada dureza, rigidez y resistencia, se emplea en la industria alimentaria para la fabricación de botellas y envases de comida de un solo uso. El PET es uno de los plásticos más reciclado para la producción de nuevos envases.



Fig.7 Botellas de PET

### **Poliestireno PS**

El Poliestireno es un termoplástico con baja temperatura de fusión que lo hace fácilmente modelable. Se emplea para la fabricación de envases no reutilizables, aislantes térmicos, acústicos y juguetes. No es aconsejable para uso alimentario ya puede emitir fácilmente toxinas.

### **Poliamida (Nylons) PS**

Es un polímero sintético de fuerte resistencia y ligero utilizado para la fabricación de hilos de uso textil o para la pesca.



Fig. 8 Hilos de Nylon

### **Policloruro de Vinilo PVC**

Es un polímero termoplástico, es un material muy valorado por su capacidad aislante, lo que lo hace perfecto para su utilización en perfiles, placas aislantes, fundas para cables eléctricos, suelos para interior y exterior, ventanas y tuberías para las aguas.



Fig.9 Tuberías de PV

## 4.2 Reciclaje de los plásticos

Dada la elevada diversidad de polímeros de los plásticos vienen identificados con un código de reciclaje presente en los envases con números del 1 al 7 (fig.10)

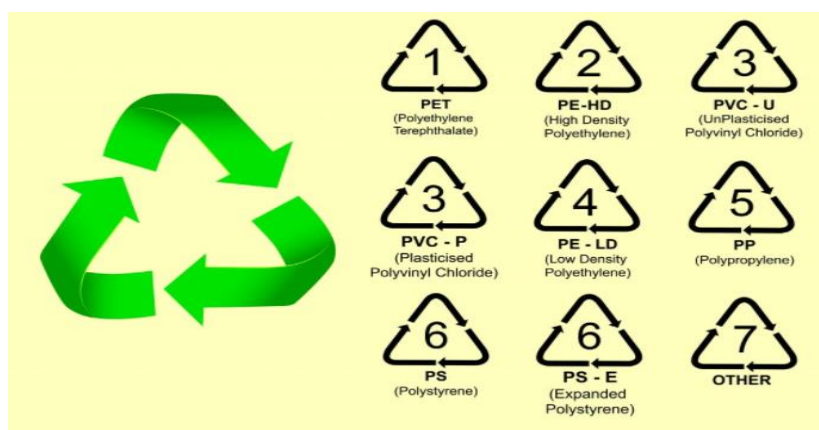


Fig. 10 códigos de reciclaje

## 4.3 Caracterización y clasificación de los microplásticos

En general los plásticos se pueden clasificar según su caracterización físico-química. La caracterización física se refiere al tamaño, al color y a la dureza de los plásticos, mientras la caracterización química se refiere principalmente a la composición de los plásticos (*Sun et al.,2018*).

Una primaria clasificación física de los microplásticos los separa en primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos que son fabricados con un tamaño de orden de milímetros, los microplásticos secundarios son aquellos que derivan del desecho de los plásticos primarios (*Pinto da Costa et al.- Cap1*). Estos plásticos, cuando se dispersan en el medioambiente pueden descomponerse en fracciones de diferente tamaño desde mm a nm (*Gigault et al.2018*).

Una segunda clasificación, más precisa, separa los plásticos por su tamaño, según esta se dividen en: macroplásticos, microplásticos y nanoplásticos. Las partículas superiores a 5 mm serán clasificadas

como macrolásticos, las partículas comprendidas entre  $1\mu\text{m}$  y  $5\text{ mm}$  serán clasificadas como microplásticos y las partículas inferiores a  $1\mu\text{m}$  serán clasificadas como nanoplásticos (Enfrin et al 2019). Esta clasificación es la que se utiliza actualmente. Con el paso del tiempo la clasificación según el tamaño ha sufrido varias modificaciones. A continuación, una imagen (Fig.11) que ilustra las modificaciones de los tamaños de los plásticos según diferentes autores.

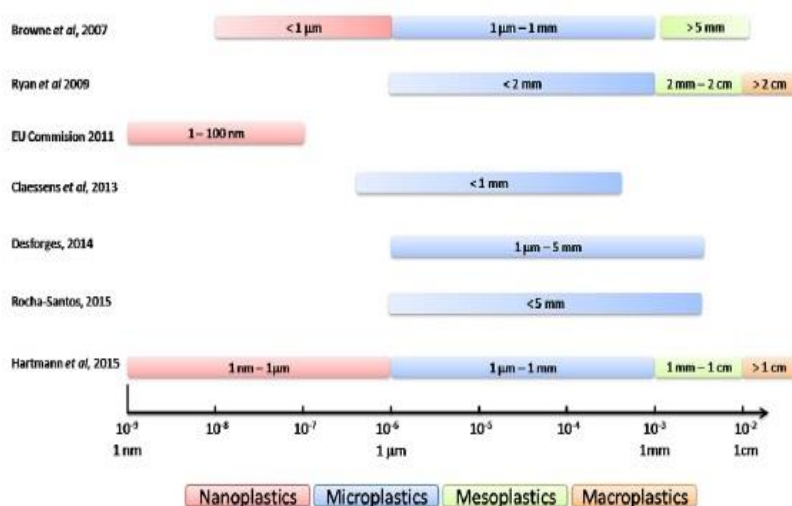


Fig.11 Definición del tamaño de los plásticos según diferentes autores (Pinto da Costa et al., 2016)

En lo que respecta a la clasificación química de los plásticos ofrece información sobre su composición polimérica. Pueden ser clasificados según su temperatura como: termoplásticos: materiales que a temperaturas elevadas se vuelven deformables para luego volver a ser rígidos; termoestables: materiales que sujetos a altas temperaturas sufren modificaciones químicas; elastómeros: materiales con mucha elasticidad, pueden ser termoplásticos o termoestables.

Actualmente los métodos de análisis de los plásticos incluyen la cromatografía, la espectrometría de masas y la desorción térmica (Sun et al., 2018), espectroscopia infrarroja, calorimetría diferencial de barrido, análisis termo gravimétrico.

## 4.4 Efectos de los plásticos

### 4.4.1 Efectos de los micro/nanoplásticos en el medioambiente

Una de las mayores preocupaciones de los últimos años ha sido como reducir la presencia de los micro/nanoplásticos en el medio ambiente ya que estos a largo plazo y en grandes cantidades causan daños en los seres vivos.

Las fibras son la categoría más abundante de residuos encontrada en la biota marina. En algunos estudios han sido analizados el sistema gastrointestinal de los peces y pájaros que viven en la costa, las partículas más abundantes encontradas en el estómago son azules, transparentes o negras (Toledo-Martínez, 2019).



Fig.12 Pez despiezado que muestra plásticos ingeridos (Lapresa 2018, El País).

En el campo de la investigación los efectos de los micro/nanoplásticos sobre la salud humana es aún muy reciente por lo que no se conoce el verdadero impacto que puede tener (Villa-Peláez, 2020). Sin embargo, en los últimos años se está intentado sensibilizar a las comunidades con el tema del reciclaje y muchas empresas están empezando a cambiar sus envases usando otro tipo de material o material reciclado con el objetivo de reducir la producción de plásticos.

#### 4.4.2 Efectos de los micro/nanoplásticos en las EDAR

En las plantas de tratamiento de aguas residuales cada día llegan diferentes tipos de desechos plásticos. La falta de información en el embalaje de los productos provoca un desconocimiento de su repercusión si no es desechada correctamente, esto por ejemplo es lo que pasa con las toallitas húmedas o los palitos para el oído que muchas veces son tirados en el desagüe como el papel higiénico, pero estos productos no están hechos de material biodegradable sino de algodón y poliéster. La eliminación de las grandes cantidades, toneladas de toallitas que llegan en una estación EDAR es un problema cada día mayor ya que no es posible su completa eliminación y al final acaba siendo un problema para el medio ambiente. Además, las fibras de estos desechos son atrapadas muy difícilmente en los procesos primarios de las EDAR.

Una investigación hecha por la región de Murcia (España) en algunas EDAR ha resaltado que la forma de microplásticos más común encontrada fueron las fibras, seguidas de películas, fragmentos y esferas.

Además, se ha demostrado que los micro/nanoplásticos pueden comprometer la operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales y se han evaluado los efectos en cada uno de los procesos de depuración de las aguas residuales (*Zhang et al., 2020*).

En la tabla 2 se resume algunos de los polímeros plásticos que se han detectado en las plantas de tratamiento de aguas residuales y sus aplicaciones.

**Tabla 2.** Tipos de polímeros, abreviación, densidad, aplicación y abundancia en el agua residual que se encuentran en las EDAR. Fuente: Elaboración propia; datos tomados de *de Sun et al. 2018; Pinto da Costa et al., Cap1)*

TIPO DE POLIMERO	ABREVIACIÓN	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	APLICACIÓN	ABUNDANCIA EN EDAR
<b>Acrílico</b>	-	1.09-1.20	Textiles	++
<b>Polietileno Tereftalato</b>	PET	0.96-1.45	Botellas, fibras de relleno, paquetes de comida.	++
<b>Poliamida (Nylon)</b>	PA	1.02-1.16	Textiles, cepillo de dientes, hilo de pescar.	+++
<b>Poliéster</b>	PES/PEST	1.24-2.3	Textiles	+++
<b>Polietileno</b>	PE	0.89-0.98	Bolsas de plástico, botellas	+++
<b>Polipropileno</b>	PP	0.83-0.92	Espumas de embalaje, tapones de botellas, equipaje de laboratorio, pajitas	++
<b>Poliestireno</b>	PS	1.04-1.1	Vasos desechables, espumas de embalaje, CDs, materiales de construcción	++
<b>Poliuretano</b>	PU/PUR	1.2	Esponjas	++
<b>Fluoruro de Polivinilideno</b>	PVF	1.7	Tuberías	+
<b>Acetado de Polivinilo</b>	PVAC	1.19	Adhesivos vinílicos	+
<b>Policloruro de vinilo</b>	PVC	1.16-1.58	Tubos, ventanas, suelos, cortinas de duchas.	+
<b>Politetrafluoroetileno</b>	PTFE	2.1-2.3	Revestimiento de cable, sartenes	+
<b>Estireno Acrílico</b>	SAN	1.08	Pinturas	+
<b>Etinilvinilacetado</b>	EVA	0.92-0.95	Suela de zapatos, juguetes, palas de pádel, colchonetas	+
<b>Alcohol polivinílico</b>	PVAL	1.19-1.31	Industrias	++
<b>Acrilonitrilo butadieno estireno</b>	ABS	1.04-1.06	Instrumentos musicales, impresoras, pantallas ordenador, dispositivos de protección	+

<b>Ácido poliláctico</b>	PLA	1.21-1.43	Impresoras 3D	++
<b>Policarbonato</b>	PC	1.2-1.22	CDs, DVDs, materiales de construcción, electrónica, lentillas	+
<b>Polietileno-Polipropileno copolimeri</b>	-	0.94		+
<b>Poliftalamida</b>	PPA	1.10	Cajas eléctricas, cuchillerías	+
<b>Resina de Terpeno</b>	-	0.98		+
<b>Resina</b>	-	0.92		+
<b>Polioximetileno</b>	POM	1.41	Impulsores, engranajes, componentes de ingeniería	+
<b>Polisulfona</b>	PSU	1.24	Equipos electrónicos y construcción de automóviles	+
<b>Silicona</b>	-	1.1-1.2	Pegamento	+
<b>Acrílico de Poliestireno</b>	PS acrílico			++
<b>Acrilato de Polivinilo</b>	PV acrilato			+
<b>Etilene polivinílico</b>	PVE			+

+ poco abundante; ++ abundante; +++ muy abundante



#### 4.5 Eliminación de los plásticos

Aunque los actuales procesos mecánicos de tratamiento de aguas residuales han demostrado una eficiencia considerable en la eliminación de microplásticos, esto depende en gran medida no sólo de los tipos de tratamientos utilizados en las plantas, sino también de la naturaleza de los materiales presentes y su carga (*Pinto da Costa et al- Cap1*).

La difícil eliminación de los plásticos en una EDAR es debido a que no hay una metodología que pueda eliminar los diferentes tipos de plásticos en un solo proceso, además el tamaño de las partículas influye mucho sobre su eliminación.

Los macrolásticos son bloqueados y eliminados en las fases de pretratamiento de una EDAR, los restantes plásticos son removidos en los procesos de flotación y coagulación del tratamiento primario. En cuanto a la eliminación de los MPs y NPs existen todavía ideas contradictorias.

Según *Steve et al, 2015* y muchos más autores, las plantas de tratamiento de aguas residuales son unas de las fuentes que vierten micro/nanoplásticos en el medio ambiente. En China, más del 80% de los microplásticos que fluyen hacia el agua derivan de los efluentes de las EDAR (*Wei et al.; 2019*).

Recientes estudios han reportado que el 45% de MPs que tienen un tamaño comprendido entre los 100  $\mu\text{m}$  y 5 mm son removidos completamente en los tratamientos primarios de una EDAR y las partículas inferiores a 500  $\mu\text{m}$  son completamente removidas en el tratamiento secundario (*Enfrin et al.;2019*). Además, *Carr et al.* (2016) encontraron que los procesos de tratamiento terciario eran efectivos en la casi completa eliminación de MPs (*Ziajahromi et al., 2017*) y que los vertidos contribuyen solo en una mínima parte a la cantidad de MPs y NPs en el medio acuático. En la tabla 3 se puede observar el porcentaje de microplásticos eliminados en algunas estaciones de tratamiento de aguas residuales después de los procesos primarios, secundarios y terciarios.

**Tabla 3.** Afluente y Efluente concentración de los microplásticos en los diferentes tratamientos de la EDAR (*Sun et al. 2019*).

Ubicación	Tipo de tratamiento	Tamaño partículas ( $\mu\text{m}$ )	Afluente (P/L)	Efluente (P/L)	Removido (%)
Suecia	Primario y Secundario	300	15.1	0.00825	99.9
Francia	Primario y Secundario	100	293	35	88.1
Estados Unidos	Primario y Secundario	100	1	$8.8 \times 10^{-4}$	99.9
Escocia	Primario y Secundario	65	15.7	0.25	98.4
Estados Unidos	Primario y Secundario	20	133	5.9	95.6
Finlandia	Primario y Secundario	250	57.6	1	98.3
Holanda	Primario/ MBR	0.7	68	51	25
Estados Unidos	Primario/ AnMBR	20	91	0.5	99.4
Finlandia	Primario/ MBR	250	57.6	0.4	99.3
Estados Unidos	Primario, Secundario y Terciario (GF)	20	91	2.6	97.2
Finlandia	Primario, Secundario y Terciario (BAF)	20	610	13.5	97.8

**MBR:** reactor de membrana; **AnMBR:** biorreactor de membrana anaeróbico; **GF:** filtro granular; **BAF** filtro biológico aireado.

En la figura 13 microplásticos encontrados en diferentes EDAR.

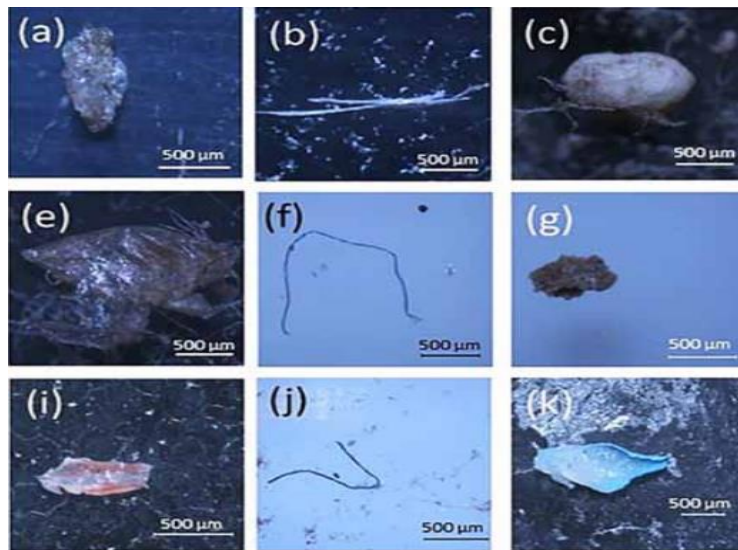


Fig.13 Microplásticos en diferentes etapas de las EDAR identificadas por FTIR: (a) fragmento de polietileno de baja densidad (LDPE); (b) fibra de polipropileno (PP); (c) cordón de Poliestireno (PS); (d) fragmento de Poliestireno PE; (e) Película de acrilato (ACRYL); (f) fibra desconocida; (g) fragmento de melamina (MUF); (h) película de poliamida (PA); (i) polietileno de baja densidad (LDPE); (j) nylon (NYL); (k) poliéster (PEST); (l) copolímero de estireno-butadieno (SBR).(Castellano-López et al,2020).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Efectos de los micro y nano plástico en el tratamiento secundario o biológico de agua residuales.

En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica de los efectos que los microplásticos y nanoplásticos pueden provocar en un reactor biológico anaerobio o aerobio.

El tratamiento secundario es una etapa de la EDAR que aprovecha la capacidad de determinados microorganismos bacterianos (aerobios/anaerobio) para alimentarse y así eliminar las sustancias nutritivas como fósforo, nitrógeno y materias orgánicas presente en el agua residual.

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales se centran principalmente en la eliminación de DQO, DBO, fósforo total y nitrógeno amoniacal; a la eliminación de los microplásticos se presta todavía muy poca atención ( *Yang et al., 2019* ).

Recientes estudios han demostrado que los MPs y NPs pueden afectar a la estructura de las bacterias comprometiendo la eficiencia del tratamiento secundario y como consecuencia a la calidad del agua que es posteriormente vertida en el medio ambiente o reutilizada para el riego.

Según *Li et al. 2020* los microplásticos pueden afectar a los procesos de nitrificación y de hidrólisis en la digestión de lodos activados.

### 5.2 Efectos en reactores biológicos aerobios

Como he dicho anteriormente los reactores aeróbicos aprovechan organismos aerobios, para la eliminación de materias orgánicas y sustancias nutritivas de las aguas residuales. Hay diferentes tipos de reactores aerobios, estos pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- **Reactores con Biomasa en Suspensión** (lodos activados), donde la biomasa crece libre en suspensión produciendo la formación de flóculos. Este proceso es de los más utilizados. El tipo de reactor

puede ser: un reactor biológico secuencial (SBR), un reactor de biomembrana (MBR) o un reactor de biocarb®.

- **Reactores con Biomasa Fija:** donde la biomasa crece adherida a un soporte que puede ser natural o artificial formando una lama o película. Los reactores pueden ser de biodiscos o Contactores Biológicos Rotativos (CBR), biofiltros, filtros percoladores y filtro con lecho móvil (MBBR).

Los estudios que se dedican a abordar el problema de como los contaminantes emergentes pueden afectar a las bacterias y en general el medioambiente son todavía muy escasos y conllevan muchas controversias entre los diferentes científicos. En los últimos años se han publicado algunos artículos científicos que intentaban clasificar los MPs y que hablaban de como la comunidad bacteriana, presente en el reactor biológico de las EDAR, puede verse afectado cuando entra en contacto con las partículas de los plásticos más comunes (PS, PES, PE etc.).

Un estudio realizado por *Feng et al., 2018* habla del papel que tienen las sustancias poliméricas extracelulares (EPS) en los procesos de depuración de las aguas residuales y en particular en el proceso de los lodos activados. El comportamiento de las sustancias poliméricas extracelulares activadas (EPS) con los nanoplásticos en el proceso de lodos no está todavía claro.

Las EPS tienen un papel clave en los procesos de depuración, en particular en los procesos de bioadsorción, floculación y adhesión.

Estas son productos metabólicos de origen biológico y sus constituyentes principales consisten sustancias de alto peso molecular, como carbohidratos y proteínas, además de sustancias húmicas y ácidos nucleicos (Tapia-Quezada 2010).

Las Sustancias Poliméricas Extracelulares aumentan la viscosidad del medio y permiten que las células se unan a otras superficies o entre sí formando agregados y permitiendo una mejor sedimentación. Las agregaciones microbianas promueven el proceso de eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales y la

producción de EPS contribuye a que los flóculos tengan una estructura esférica, compactada y difícilmente disgregable (*Feng et al.,2018*). Un aumento de bacterias filamentosas provocaría un desequilibrio en la estructura con la formación de flóculos con poca densidad y una mala sedimentación. Sin embargo, un exceso de producción de EPS provocaría que los flóculos fuesen dispersos, con una elevada velocidad de sedimentación, pero con un sobrenadante turbio.

Además, la producción de sustancias poliméricas extracelulares aumenta ante determinadas circunstancias como: la escasez de nitrógeno y fósforo, la presencia de sustancias tóxicas (como medio de protección) y al aumentar la concentración de oxígeno disuelto. Un estudio de *Feng et al.,2018* ha observado el comportamiento de las EPS y de la respiración endógena cuando entra en contacto con partículas esféricas de NPs de Poliestireno (PS) de un tamaño entre los 28.2nm y los 91.3nm. El estudio demostró que la reacción fue una disminución de la respiración endógena en los lodos activados cuando la concentración de PS-NPs aumentaba (fig14).

La frecuencia respiratoria endógena es un indicador importante de actividad de las bacterias y de los lodos activados, esto está directamente relacionado con la eficiencia del tratamiento de aguas residuales. Además, se ha evidenciado un aumento de la producción de EPS en relación con la presencia de PS-NPs. Esto puede ser interpretado como una defensa por parte de la bacteria a una sustancia tóxica con el objetivo de impedir a la misma penetrar su superficie.

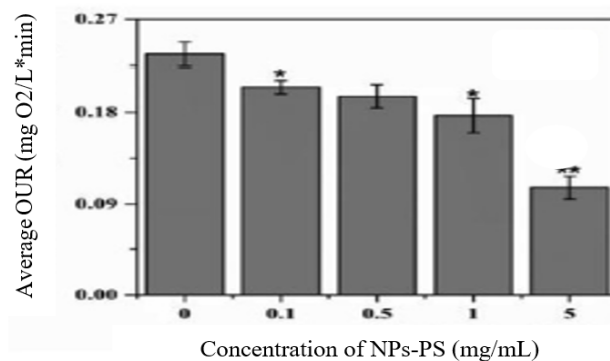


Fig.14 Diagrama concentración PS-NPs vs OUR (*Feng et al.,2018*)

El resultado de este estudio puede compararse con el realizado por *Li et al., 2020*, de lo cual se obtuvo el mismo resultado: reducción drástica de la respiración endógena (fig15).

En dicho estudio se utilizaron diferentes concentraciones de partículas de PS del tamaño de 110nm, la concentración máxima fue de 5 g/L en un tiempo máximo de 10 horas.

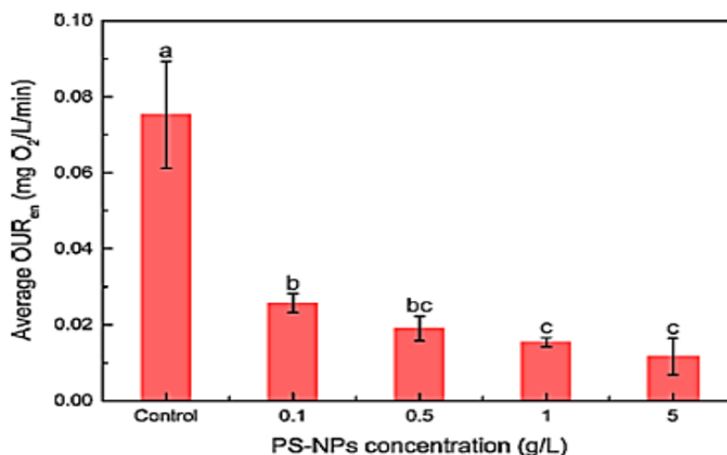


Fig.15 Diagrama de concentración de PS-NPs vs  $OUR_{en}$  (*Li et al., 2020*)

El gráfico nos señala que cuando la concentración de NPs-PS era 0.1g/L la respiración endógena disminuyó en un 65.9% en comparación con el grupo de control, el efecto de la reducción de la respiración se pudo observar ya a bajas concentraciones de PS (*Li et al., 2020*).

El análisis de la formación de los flóculos, importantes para una buena sedimentación, reveló a través de la microscopía óptica, que cuando la concentración de NPs-PS era superior a 1g/L aparecieron muchos flóculos finos y este efecto aumentaba al aumentar la concentración de PS-NP (fig.16).

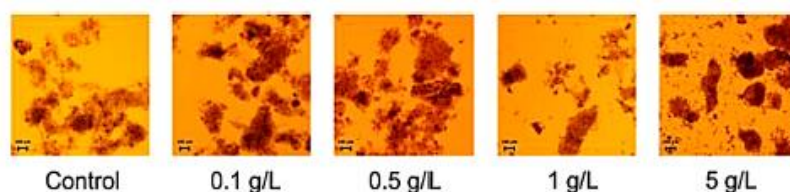


Fig. 16 Imágenes de microscopía óptica de flóculos finos (*Li et al., 2020*)

Otro problema causado da los NPs-PS fue que los lodos activados adsorbieron una gran cantidad de nano partículas (fig17) lo que causó problemas en los agujeros usados como canales de transporte presentes en la superficie de los agregados microbianos que se hicieron más pequeños, impidiendo un correcto transporte de nutrientes al interior de la bacteria. La disminución de los agujeros impidió que los microorganismos del interior de los lodos obtuvieran suficiente sustrato, que a su vez condujo a la desintegración de los activados flóculos de lodo.

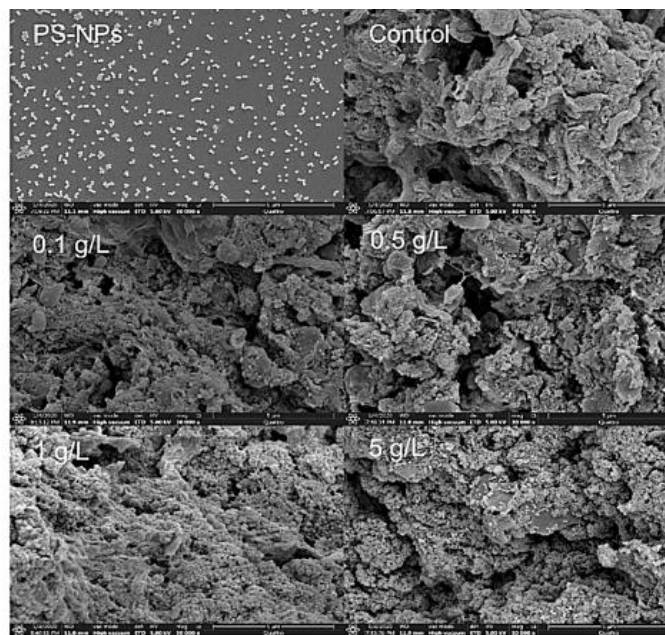


Fig.17 Imágenes SEM de los lodos activos con diferentes concentraciones de NPs-PS (*Li et al., 2020*).

También se ha observado que los tamaños de las partículas de los flóculos aumentaron significativamente después de la exposición a NPs-PS (fig.18). A concentración de 0.1g/L, 0.5g/L, 1g/L, 5g/L el tamaño medio de la partícula del lodo aumentó en un 6.5%, 7.2% 9.4% y 11.2%, a medida que aumentaba gradualmente la concentración de NPs-PS, la proporción del volumen total de lodos activados con tamaños entre 176  $\mu\text{m}$  y 296  $\mu\text{m}$  aumentaron gradualmente, lo que puede deberse al gran número de NPs-PS adsorbidos por el lodo.



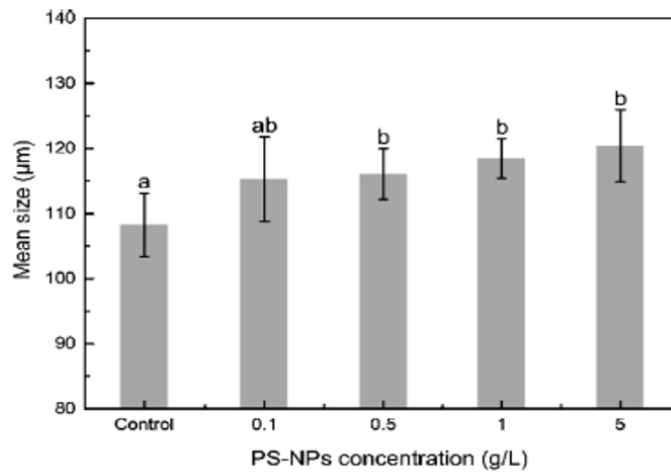


Fig.18 Diagrama concentración NPs-PS vs tamaño flóculos  
(Li et al., 2020).

Este aumento puede haberse producido porque los NPs-PS mataron una gran cantidad de microorganismos y desintegraron los flóculos de lodo. Estos pequeños flóculos de lodo afectaron la formación de unos flóculos más grandes y con mayor capacidad de sedimentación. Del análisis de vida/muerte de las bacterias se observó que con el aumento de las concentraciones de NPs-PS la muerte de las bacterias aumentaba (fig.19)

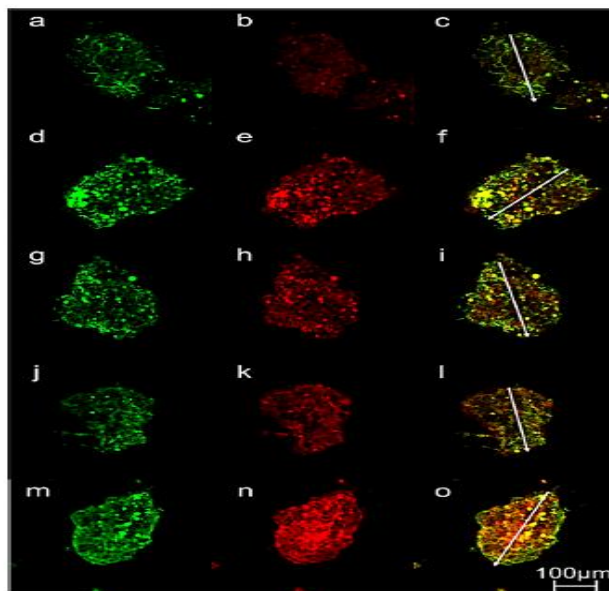


Fig.19 Distribución bacteria viva/muerta a diferentes concentraciones, los colores más intensos indican las bacterias vivas. Control(a~c);(d~f) 0.1 g/L; (g~i) 0.5 g/L; (j~l) 1 g/L; (m~o) 5 g/L (Li et al., 2020).

También fue estudiada la reacción de las EPS y a diferencia del estudio de *Feng et al., 2018* que afirmaba: “el estudio ha evidenciado un aumento de la producción de EPS en relación a la presencia de NPs-PS”, en la investigación de *Li et al., 2020*, afirmaron que con el aumento de la concentración de NPs-PS disminuyó la producción de EPS por parte de las bacterias, reduciendo así la capacidad de agregación de los lodos y produciendo como consecuencia una mala sedimentación, esto de hecho disminuyó gradualmente a medida que aumentaba la concentración de PS-NPs. Dicho resultado podría ser un gran problema ya que la sedimentación secundaria es un proceso importante para una eficiente eliminación de la materia orgánica, una mala formación de flóculos podría afectar la eficiencia de la depuración de las aguas residuales en las EDAR.

Hablamos ahora de la eliminación de nitrógeno y fósforo en las EDAR.

El nitrógeno (N) es un contaminante presente en las aguas residuales que debe ser eliminado por múltiples razones: reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, es un riesgo para la salud pública y junto al fósforo (P), son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (proceso de eutrofización).

El nitrógeno llega principalmente a las aguas residuales en forma proteica o de urea que se descompone rápidamente. Por tanto, el nitrógeno que llega a las EDAR lo hace principalmente en forma de amonio, que se oxida hasta llegar a nitratos, la forma más oxidada del nitrógeno, este proceso se llama proceso de nitrificación (fig.20).

#### Nitrificación

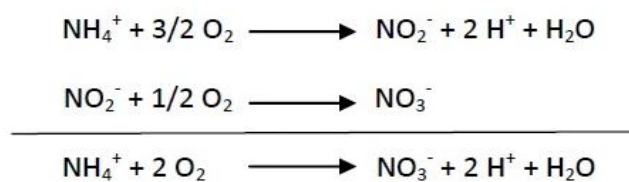


Fig. 20 Oxidación del Nitrógeno amoniacal

La nitrificación es el primer paso en la eliminación del nitrógeno en las aguas residuales. Este se puede llevar a cabo gracias a dos géneros de bacterias, nitrosomas (transforman el amonio a nitrito) y nitrobacter (transforman el nitrito en nitrato). Las bacterias nitrificantes son organismos extremadamente sensibles y que se ven afectadas por numerosos factores como lo son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, etc. Son utilizadas como indicadores, por ejemplo, si en los vertidos analizados al finalizar los diferentes procesos de la EDAR tenemos valores altos de nitritos, indica que no se está ejecutando correctamente el ciclo del nitrógeno en el reactor biológico.

El proceso de desnitrificación (fig.21) es la segunda etapa de la eliminación del nitrógeno en las aguas residuales, lo cual se da en condiciones de anoxia, donde previamente el nitrato es reducido a nitrito y posteriormente a nitrógeno gas, mediante la acción de bacterias heterótrofas. Estas bacterias utilizan el carbono de la materia orgánica para la síntesis celular y como fuente de energía.

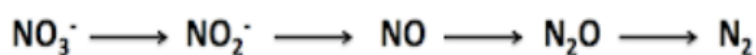


Fig.21 Reducción del Nitrato

En un estudio redactado por *Qin y et al., 2020* se han estudiado los efectos que los microplásticos de poliéter sulfona (PES) con un tamaño de 0.25mm tienen sobre las bacterias que efectúan procesos de nitrificación y desnitrificación en las aguas residuales.

El experimento ha sido realizado usando la nueva tecnología del fango granular. El fango granular (fig.22) es un tipo especial de biopelícula donde la biomasa crece formando agregados compactos denominados gránulos debido a su geometría casi esférica. La tecnología de fango granular aerobio (AGS) ejecuta la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en sistemas compactos y recientes estudios la definen como más eficiente que los sistemas convencionales de lodos activados.



Fig.22 Lodo granular aerobio (AGS) ([www.globalwe.com](http://www.globalwe.com))

En las últimas décadas, el lodo granular aeróbico (AGS) ha atraído una atención significativa de la investigación en biotecnología debido a su eliminación eficiente de contaminantes (*Qin y et tal., 2020*). En el estudio de *Qin y et tal., 2020* se demostró que la presencia de MPs de poliéter sulfona disminuyó la eliminación de nitrógeno en 30 días, pero no de manera drástica, las que resultaron inhibidas fueron los enzimas responsables de la respiración de las bacterias: NOR (nitrito oxidorreductasa) y NIR (nitrito reductasa).

*Alvim et al., 2020* han enfocado su investigación en los efectos de los MPs de polietileno (PE) sobre el proceso de lodos activados en un reactor biológico secuencial (SBR).

Las esferas de polietileno fueron usadas como sustrato de desarrollo por parte de las bacterias, el experimento duró 93 días y se ha podido revelar que los MPs de PE tendían a acumularse en los lodos, pero el proceso de depuración de las aguas no fue de ninguna manera comprometido y aunque la comunidad bacteriana había disminuido, la eliminación de la materia orgánica no se vio afectada. Tampoco las bacterias nitrificantes y desnitrificantes se vieron afectadas. Las esferas de polietileno utilizadas fueron del tamaño de 150 $\mu$ m-180 $\mu$ m, densidad alrededor 1,00 g / cc y color verde (Fig.23). La

concentración en el tanque fue de 50 MP / L (0,2 mg / L) hasta el día 70 y posteriormente aumentó a 253 MP / L (1 mg / L) hasta el día 93.

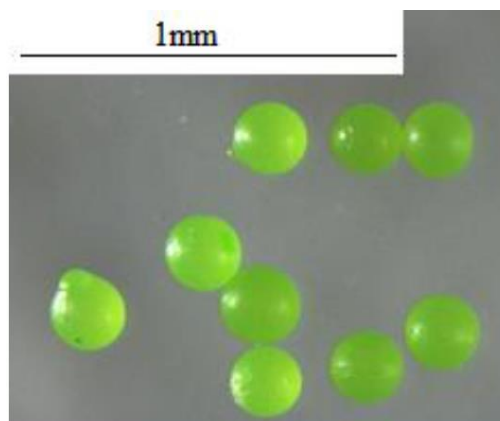


Fig.23 Microesferas de Polietileno (*Alvim et al., 2020*)

Durante la fase experimental se hicieron muestras químicas, físicas y biológicas. En el análisis biológico fueron analizadas las ATP (Adenosina Trifosfato). La respiración se logra gracias a un conjunto de reacciones enzimáticas y reacciones de óxido-reducción. Por ejemplo, la glicólisis es un proceso para obtener energía, la hacen bacterias aerobias, anaerobias y facultativas; consiste en la ruptura de glucosa (un azúcar con 6 carbonos) en piruvato (2 moléculas con 3 carbonos) para obtener energía quitándole e<sup>-</sup> y formando 2 moléculas de ATP y dos de NADH+H. La cantidad de ATP en los sistemas biológicos está relacionado con la actividad metabólica de organismos. Por tanto, la introducción de un nuevo componente en el SBR (en este caso PE) puede afectar el metabolismo bacteriano. En el estudio de *Alvim et al., 2020*, se determinaron seis actividades enzimáticas hidrolíticas microbianas: lipasa, ácido fosfatasa, fosfatasa alcalina,  $\alpha$ -D-glucosidasa, deshidrogenasa y proteasa, solo la fosfatasa tenía ligeramente más baja la actividad.

El análisis de la biomasa confirmó que la viabilidad celular no se vio afectada y que el porcentaje de bacterias muertas era muy bajo, tampoco se verificaron modificaciones en la actividad metabólica

microbiana. Solo a partir del día 70 hasta el fin del experimento se observó que el crecimiento de la biomasa se vio afectado (fig.24).

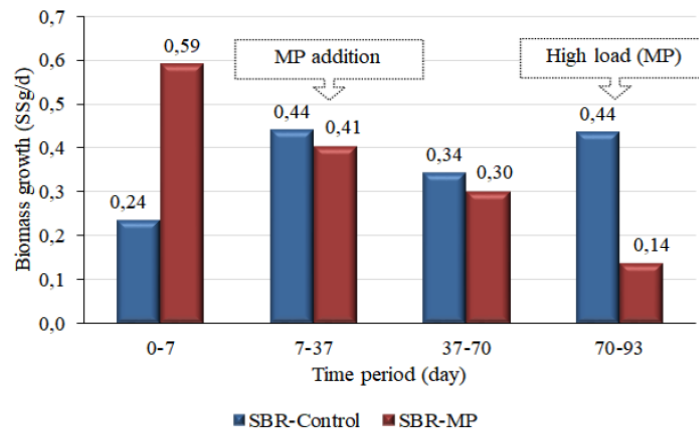


Fig.24 Crecimiento de biomasa en un SBR sin PS (en azul) y en un SBR-PS (en rojo), (Alvim et al., 2020).

Microscópicamente, el lodo activado del SBR-MP presentó una estructura de flóculos más compacta, con flóculos más grandes y ligeramente más mineralizada que SBR-Control. También se observó que en el reactor SBR-PS no había presencia de filamentos (fig.25), estos pueden haber sido destruidos por parte de las esferas de PS.

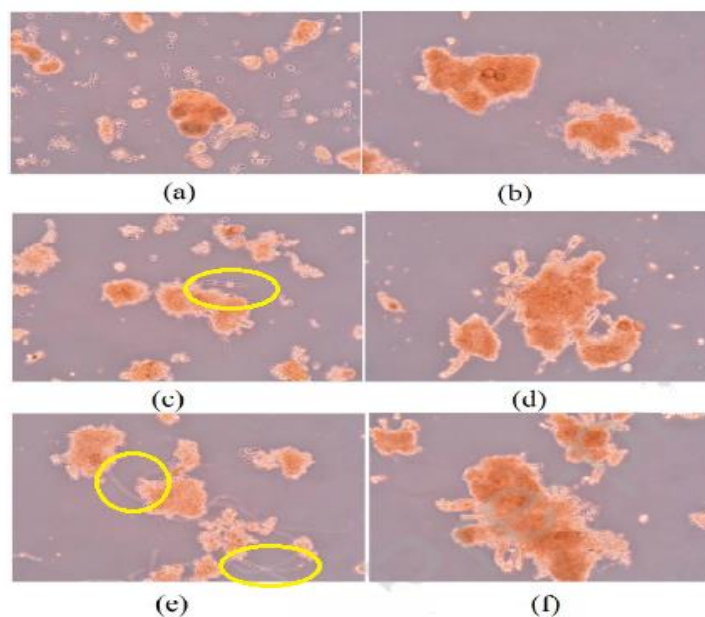


Fig.25 Biomasa imagen 100x de SBR-Control (izquierda) and SBR-PS (derecha), en amarillo los filamentos (Alvim et al., 2020).

### 5.3 Efectos en reactores biológicos anaerobios

Los reactores anaerobios son utilizados principalmente cuando el porcentaje de materia orgánica es elevado, por esta razón es un reactor empleado por parte de las industrias para el tratamiento de los efluentes industriales o sanitarios.

El reactor anaerobio más comúnmente empleado es el reactor UASB, (Upflow Anaerobic Sludge Blanket- fig26), que opera en régimen continuo y en flujo ascendente de alta eficiencia. Son reactores en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

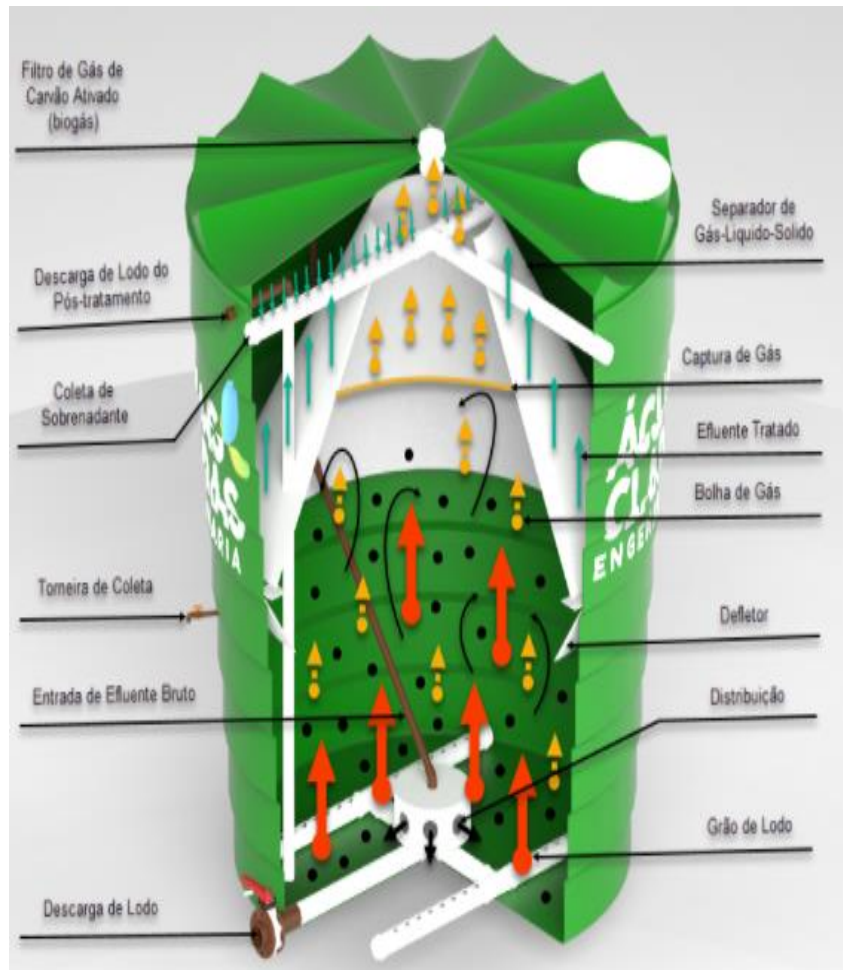


Fig.26 Esquema de un reactor UASB  
([www.aguasclarasengenharia.com](http://www.aguasclarasengenharia.com))

Hoy día los estudios sobre los efectos de los micro/nanoplásticos en los reactores anaerobios no son muchos, son poco claros, pero tienen resultados comunes.

Un estudio efectuado por *Wei et al.2019*, por ejemplo, ha demostrado que una breve exposición a bajas concentraciones (10, 30 y 60 partículas/g-TS) de microplásticos de polietileno no afectaba de ningún modo la producción de gas metano en el reactor, sin embargo, aumentando la concentración de las partículas de PE a 100 y 200 partículas/g TS, disminuyó la producción de metano entre un 12,4% y un 27,5%, con un menor potencial de metano y coeficiente de hidrólisis. La figura 27 muestra curvas de producción de metano a diferentes concentraciones de PE.

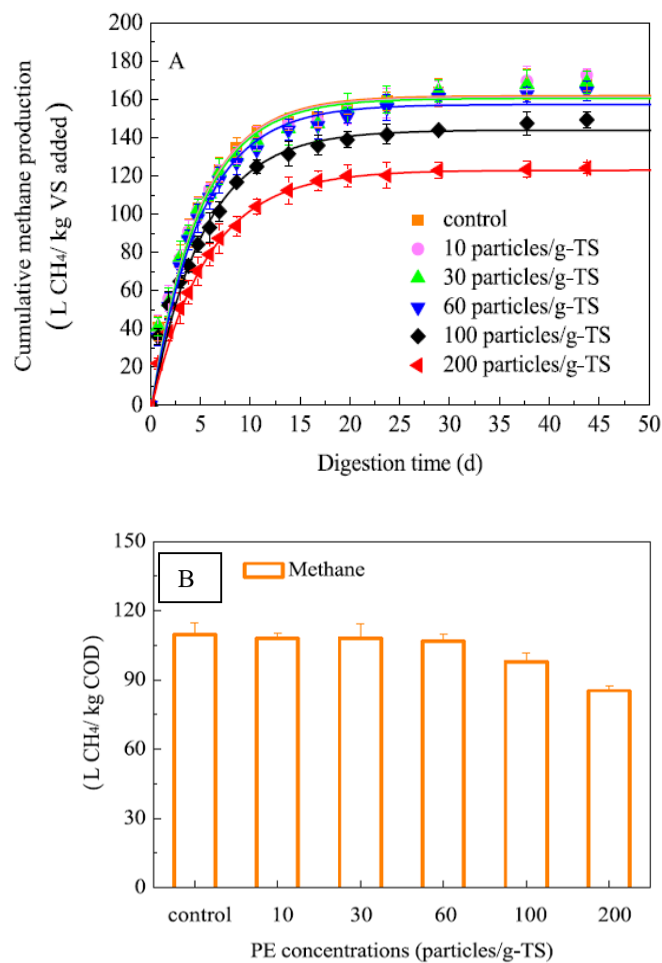


Fig.27 Curvas de producción de metano (A), disminución producción de metano (B), (*Wei et al.,2019*).



También un estudio llevado a cabo por *Li et al., 2020* investigó el rendimiento en la producción de metano durante la digestión anaeróbica con diferentes abundancias de microplásticos, en este caso el poliéster (PES) (fig.28), del tamaño de 200 $\mu$ m. En esta investigación al igual que en la anterior se observó una reducción de metano y del coeficiente de hidrólisis, aunque la estructura de la población microbiana no se encontró afectada.

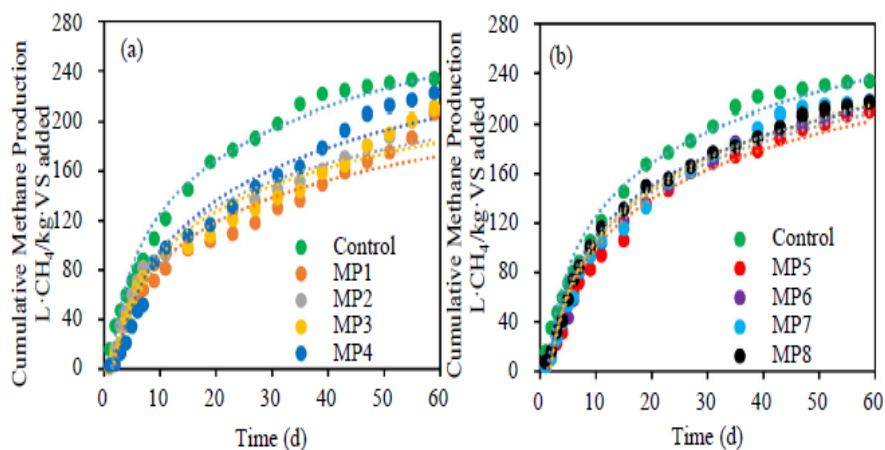


Fig.28 a/b Curvas de producción de metano (*Li et al., 2020*)

Además, se demostró que la producción de bacterias presentes en el reactor anaerobio disminuyó con el aumento de la concentración de las partículas de polietileno (fig.29), (*Wei et al.,2019*).

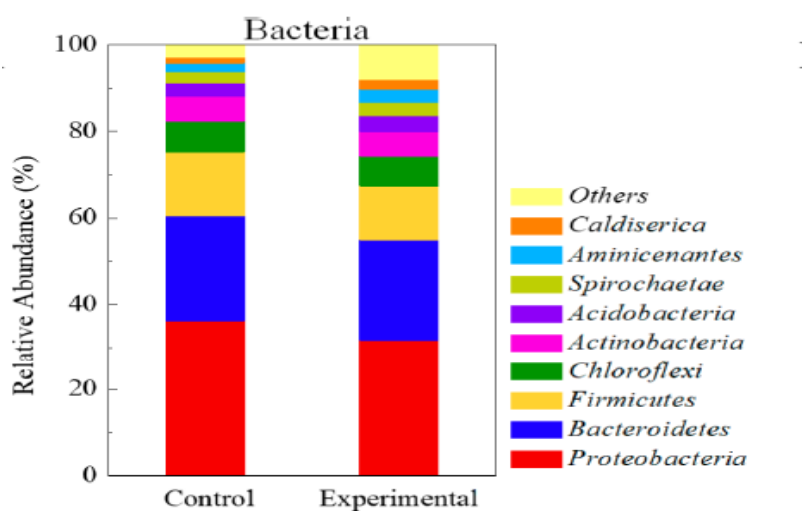


Fig.29 Abundancia de bacterias en el reactor anaerobio (*Wei et al.,2019*).

El mismo autor *Wei et al. en el 2020* redactó otro estudio sobre los efectos de los NPs-PS en lodos granulares anaeróbicos para estudiar si la producción de metano usando esta tecnología también estaría disminuida. El resultado fue que la producción de gas metano no disminuyó a bajas concentraciones (10 mg/L) de NPs-PS, pero sí que resultó afectado cuando las concentraciones de las partículas fueron aumentadas (fig. 30).

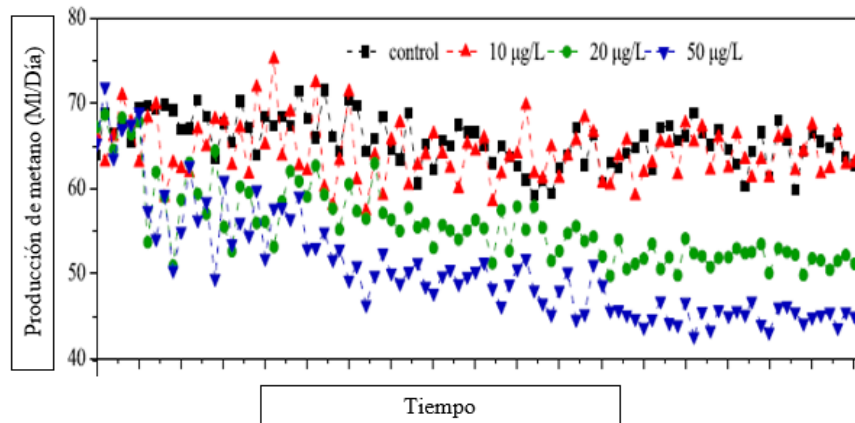


Fig. 30. Producción de Metano (*Wei et al. 2020*)

También se registró que los AGS después de las exposiciones a las diferentes concentraciones de NPs-PS sufrieron cambios físicos como se evidencia en la figura 31.

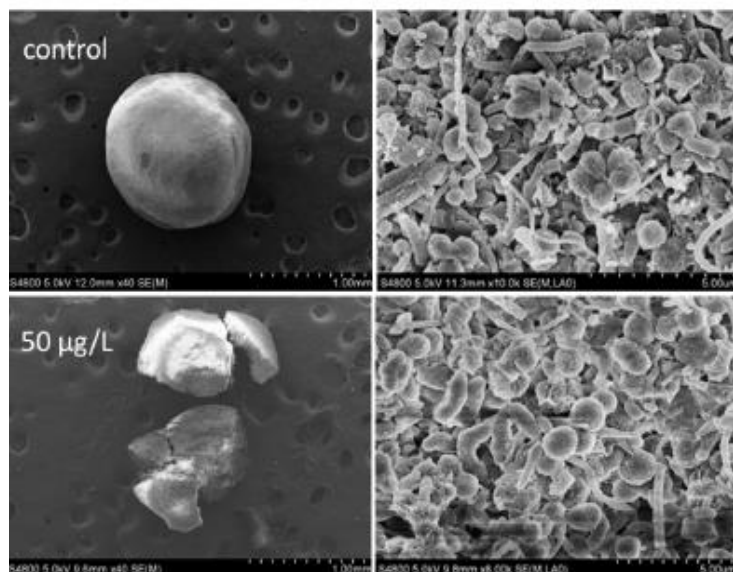


Fig. 31 Morfología de AGS imagen SEM antes y después de la exposición a los NPs-PS (*Wei et al., 2020*)

También se llevó a cabo un estudio para ver si la presencia de NPs-PS había afectado a la reproducción de las diferentes bacterias anaeróbicas presentes en el reactor, el resultado fue positivo (fig. 32). La observación indicó que las células muertas en el control eran solo del 0.4% mientras que con una exposición a largo plazo y concentración de 50  $\mu\text{g/L}$  de NPs-PS el porcentaje había subido a 0.9%, (Wei *et al.*, 2020).

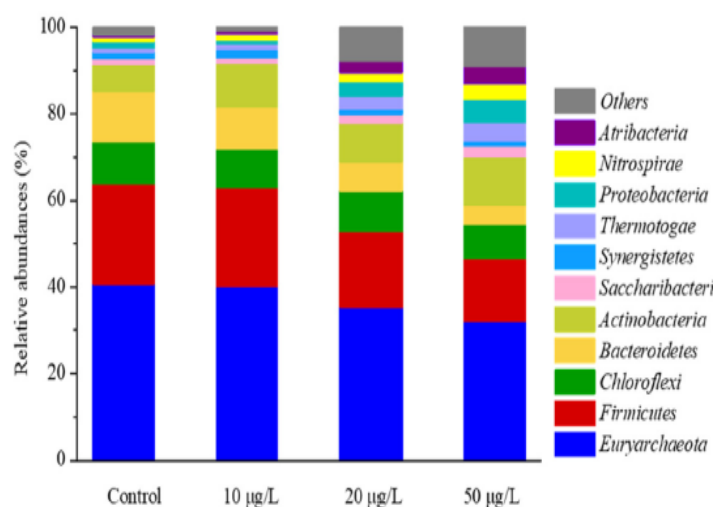


Fig.32 Abundancia de bacterias en el reactor anaerobio (Wei *et al.*,2020).

Como se ha podido constatar las conclusiones de los diferentes autores han dado lugar a resultados opuestos unos de otros. En este trabajo se ha realizado una tabla que contiene a modo de resumen los resultados de los diferentes artículos (tabla 4) sobre los efectos de los MPs-NPs en procesos biológicos aerobios y anaerobios con el propósito de obtener una mayor organización y visualización de los mismos.

**Tabla 4.** Tabla resumen de los efectos de los MPs y NPs en Reactores Biológicos.

<b>AUTOR</b>	<b>TIPO DE PROCESO Y REACTOR</b>	<b>TIPO DE POLIMEROS</b>	<b>TAMAÑO POLIMEROS</b>	<b>EFFECTOS</b>
<i>Feng et al., 2018</i>	Aerobio, Lodos Activos	PS	28.2nm/91.3nm	-Aumento de EPS -Disminución de la respiración endógena
<i>Li et al., 2020</i>	Aerobio Lodos Activos	PS	110nm	- Disminución de la respiración endógena - Producción de flóculos finos - Obstrucción de los agujeros con el consecuente incorrecto transporte de nutrientes al interior de la bacteria
<i>Qin y et al., 2020</i>	Aerobio Lodos Activos Reactor AGS	PES	0.25mm	-Inhibición del proceso de nitrificación -Inhibición de los enzimas NOR y NIR
<i>Alvim et al., 2020</i>	Aerobio Lodos Activos Reactor SBR	PE	150µm-180µm	-Disminución de la reproducción de las bacterias - Inhibición de las enzimas - No se formaron filamentos
<i>Wei et al. 2019</i>	Anaerobio Reactor UASB	PE	40µm	-Reducción de la producción de metano
<i>Li et al., 2020</i>	Anaerobio Reactor UASB	PES	200µm	-Reducción de la producción de metano -Disminución de la reproducción de las bacterias
<i>Wei et al. en el 2020</i>	Anaerobio Reactor UASB-AGS	PS	50nm	- Ruptura del lodo granular -Reducción de la producción de metano -Disminución de la reproducción de las bacterias

Una de las preguntas que los científicos se han planteado en los últimos tiempos es si los abonos producidos por las EDAR contienen nanoplasticos. Las EDAR producen a través de la línea de fangos lodos que son secados y cuyo objetivo es la reutilización en agricultura como abono, pero algunos estudios afirman que en estos abonos han sido detectados nanoplasticos y que los efectos que pueden provocar en el suelo se encuentran todavía en fase de estudio. *Van den Berg y col. (2020)* informó que en España suelos agrícolas que reciben biosólidos de lodos de depuradora, presentan de media 25,6% más MPs que suelos sin aplicación.

En Europa y el Norte de América, la cantidad de microplásticos transferidos desde EDAR a biosólidos es mayor que la cantidad presente en el agua de mar (*Wei et al, 2019*).

¿Hay soluciones para eliminar los MPs y NPs de las EDAR?

La tecnología electroquímica, en particular la electrocoagulación, podría ser una solución alternativa a la eliminación de los MPs presentes en las aguas residuales, el experimento realizado por *Villa et al 2020*, ha demostrado que esta técnica elimina el 99% de MPs presentes.

En el 2016 un equipo científico del Instituto de Tecnología de Kioto ha descubierto una bacteria *Ideonella sakaiensis* que es capaz de descomponer y digerir el Tereftalato de polietileno (PET), podría ser otra solución para la eliminación de los MPs y NPs de PET presentes en las EDAR.

## CONCLUSIONES

Los efectos que los micro y nanos plásticos pueden causar en el tratamiento de aguas residuales y en particular en el proceso biológico se encuentran hoy día en fase de estudio.

Los artículos presentes son muy recientes e intentan aclarar no solo los efectos que pueden causar en las bacterias si no el daño que se puede generar cuando las bacterias son afectadas por parte de estos polímeros, ya que los estudios han demostrado que la depuración del agua podría verse comprometida.

Es verdad que los procesos primarios son responsables de la mayor eliminación de los MPs y NPs, pero a las EDAR llegan cada día más desechos plásticos y no todos son eliminados. En el 2021 no tenemos todavía una tecnología que nos permita detectar y eliminar los nanoplásticos, esto ocurre porque existen varios tipos de polímeros que no pueden ser eliminados de la misma forma. Por esta razón las EDAR son consideradas uno de los principales medios para la liberación de MPs y NPs en el medioambiente.

El primer objetivo de este trabajo ha sido hacer una clasificación de la composición y el tamaño de los materiales plásticos que se encuentran en una EDAR. En éste contexto, se ha podido concluir que el cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) son los microplásticos más comunes encontrados, sin embargo, el polietileno (PE) es el microplástico más abundante, ya que es ampliamente utilizado en embalajes.

En relación al segundo objetivo, se han revisado y comparado 12 artículos que tratan los efectos que causan los MPs y NPs en los reactores biológicos en una EDAR. Se ha podido evidenciar que las ideas de los autores no siempre van en la misma dirección. La idea general es que los microplásticos y nanoplásticos causan efectos negativos en las bacterias: inhibición del proceso de nitrificación,

disminución de crecimiento y reproducción de las bacterias, disminución de la respiración endógena, aumento de la producción de EPS, reducción de la producción de metano. Por tanto, los problemas causados a las bacterias pueden afectar la calidad del agua tratada.

Este segundo objetivo ha facilitado alcanzar con éxito el tercero, ya que ha sido posible construir una tabla de resumen (tabla 4) que recoge el polímero, los efectos que producen y su tamaño.

A fecha de hoy las ideas que circulan son muy diferentes pero lo que está claro es que, aunque algunos autores afirman que los daños causados no son muy relevantes, se podría afirmar que los NPs y MPs generan efectos negativos en las bacterias y comprometen la eficacia de las EDAR.

Es importante que se siga investigando para encontrar una solución al problema que los MPs y NPs podrían provocar en el futuro, tanto en el medioambiente como en la microflora de los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales, sobre este último tema hay que investigar más ya que el tema es muy reciente y la información muy escasa con el fin de comprender los mecanismos envueltos, cara a solucionar los efectos negativos que causan pérdidas de rendimiento de depuración en las EDAR.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ALVIM B.C.; CASTELLUCCIO S.; FERRER-POLONIO E.; BESPÍA M.A.; MENDOZA-ROCA J.A.; FERNÁNDEZ-NAVARRO J.; ALONSO J.L.; AMORÓS I. (2020). *Effects of polyethylene microplasticson activate sludge process accumulation in the sludge and influence on the process and on biomass characteristic. Journal Pree-proof*
- ANDRADY, A.L.; (2011). *Microplastics in the marine enviroment. Mar. Pollut. Bull. 62, 1596-1605.*
- CARR A.S.; LIU J.; TESORO A.G.; (2016). *Transport and fate of microplastics particles in wasterntreatment plants. Water Research 91, 174-182.*
- CASTELLANO-LOPEZ J.; OLMOS-ESPINAR S.; BAYO-BERNAL J.;(2020) *Emergentes y ubicuos: microplásticos en aguas residuales y EDAR. Monitorización de cuatro EDAR en la Región de Murcia. Tecnoagua n 45.*
- FENG L.J.; WANG J.J.; LIU S.C.; SUN X.D.; YUAN X.Z.; WANG S.G.; (2018). *Role of extracellular polymeric substances in the acute inhibition of activated sludge by polystyrene nanoparticles. Enviromental Pollution 238, 859-865.*
- GIGAULT J.; TER HALLE A.; BAUDRIMONT M.; PASCAL P.Y.; GAUFFRE F.; PHI T.L.; EL HADRI H.; GRASSI B.; REYNAUD S.; (2018) *Curret opinion: Whats is nanoplastics? Enviromental Pollution 235, 1030-1034.*
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, A.; HERNÁNDEZ-LEHMANN, A.; GALÁN, P. (1995). *Manual de Depuración Uralita. Editorial Paraninfo, S.A. Madrid. 472 pp.*
- LI H.; XU S.; WANG S.; YANG J.;YAN P.; CHEN Y.; GUO J.; FANG F.: (2020). *New insight into the effect of short-term exposure to polystyrene nanoparticles on activated sludge performance. Journal of Water Process Engineering 38.*
- LI L.; GENG S.; LI Z.; SONG K.; (2019). *Effect of microplastics on anaerobic digestion of wassted activated sludge. Chemosphere 247.*
- PELÁEZ VILLA S. LLAMAS MOYA J. M; (2020). *Uso de la eletrocoagulación como alternativa para la eliminación de microplásticos presentes en las aguas residuales urbanas. Trabajo Fin de Máster. Máster en Gestión Sostenible y Tecnologiás del Agua. Escuela Politenica Superior.*
- PINTO DA COSTA J.; DUARTE C.A; ROCHA SANTOS A.P.T.; (2017). *Microplastics- Occurence, Fate and Behaviour in the Enviroment en Characterization and Analisis of Microplastics; Vol.75 lugar pp1-pp20.*



- PINTO DA COSTA J.; SANTOS P.S.M.; DUARTE A.C.; ROCHA-SANTOS T.; (2016) (Nano) plastics in the environment- Sources, fates and effects. *Science of The Total Environment* 566-567, 15-26. *Process Safety and Environmental Protection* 148,536-547.
- QIN R.; SU C.; LIU W.; TANG L.; LI X.; DENG X.; WANG A.; CHEN Z.; (2020). Effects of exposure to polyether sulfone microplastic on the nitrifying process and microbial community structure in aerobic granular sludge. *BioresurceTechnology* 302.
- SIMON M.; VAN ALST N.; VOLLERSTEN J.; (2018). Quantificacion of microplastics mass an removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plan Array (FPA)- based Fourier Trasform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research* 142, 1-9.
- SUN J., DAI X., WANG Q., VAN LOOSDRECHT C.M., NI B.J.; 2018. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurence and removal. *Water Research* 152, 21-37.
- TANASUPAWAT S., TAKEHANA T., YOSHIDA S. HIRAGA K. ODA K., (2016). *Ideonella sakaiensis* sp. Nov., isolated from a microbial consortium that degrades poly (ethylene terephthalate). *International Jurnal of Sistematic and Evolutionary Microbiology* 66, 2813-2818.
- TAPIA-QUEZADA J.M.; (2010). Fenomenos de interacción químico-biológicos del hierro en nuevos sistemas de generación de energía. Memoria para optar al Grado de Doctor. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Complutense de Madrid.
- TOLEDO MARTINEZ, M. Á.; (2019). Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano) plásticos en el medio ambiente y la biota marina. Madrid. Trabajo Fin de Máster. Máster en Ciencia y Tecnología Química. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- WEI W.; HUANG S.Q.; SUN J.; DAI X.; NI J.B.;(2019). Revealing the Mechanism of Polyethylene Microplastics Affecting Anaerobic Digestion of Waste Activade Sludge.
- WEY W.; HAO Q.; CHEN Z.; BAO T.; NI J.B.; (2020) Polystyrene nanoplastics reshape the anaerobic granular sludge for recovering methane from wastewater. *Water Research* 182.
- YANG L.; LI K., CUI S., KANG Y. AN L., LEI K.,(2019). Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant. *Water Research* 155, 175-181.
- ZIAJAHROMI S.; NEALE A. P.; RINTOUL L.; LEUSCH D.L.F.; (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics; Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research* 112, 93-99.

## **WEB**

[www.elpais.com](http://www.elpais.com) Lapresa J.,2018. 2050: más plásticos que peces en los océanos. [https://elpais.com/elpais/2018/05/31/planeta\\_futuro/1527757818\\_465356.html](https://elpais.com/elpais/2018/05/31/planeta_futuro/1527757818_465356.html).

[www.Globalwe.com](http://www.Globalwe.com). Biomasa Granular. <https://www.globalwe.com/es/servicios/biomasa/>

[www.aguasclarasengenharia.com](http://www.aguasclarasengenharia.com). Reactor UASB: Sepa que es y como funciona. <https://aguasclarasengenharia.com.br/reactor-uasb-sepa-que-es-y-como-funciona/>.

[www.tuttogreen.it](http://www.tuttogreen.it). Elle 2017. Individuo un batterio mangia plastica. <https://www.tuttogreen.it/individuo-un-batterio-mangia-plastica/>.