



Universidad de Oviedo

Universidad de Oviedo

Trabajo Fin de MÁSTER

Proyecto de Investigación

**“DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FARMACOS EN AGUAS RESIDUALES, ANTES Y DES-
PUÉS DEL PROCESO DE DEPURACIÓN”**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO EN LAS TRES EDARS MÁS IMPORTANTES DE LA CIUDAD DE
OVIEDO EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

Jesús Israel Casero Velázquez
Mayo 2023

Trabajo Fin de Máster



Universidad de Oviedo

Universidad de Oviedo

Trabajo Fin de Máster

Proyecto de Investigación

**“DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FARMACOS EN AGUAS RESIDUALES, ANTES Y DES-
PUÉS DEL PROCESO DE DEPURACIÓN”**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO EN LAS TRES EDARS MÁS IMPORTANTES DE LA CIUDAD DE
OVIEDO EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

Trabajo Fin de Máster

Jesús Israel Casero Velázquez

Alba Maestro González



Universidad de Oviedo



INDICE

INDICE	4
1. INTRODUCCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA	5
2. ESTADO ACTUAL DEL TEMA	8
2.1.Generalidades del agua contaminada	8
a.Procesos de Saneamiento - Depuración	12
b.Justificación.....	17
6. Objetivos.....	19
a.Objetivo general	19
7. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
a.Tipo de estudio	19
b.Ámbito, tiempo y lugar de estudio	19
c.Criterios de inclusión y exclusión	22
d.Instrumento.....	22
e.VARIABLES a estudio	22
f.Procedimiento	24
h.Análisis estadístico.....	27
i.Consideraciones éticas	28
j.Limitaciones del estudio	28
8. CRONOGRAMA.....	29
9. PRESUPUESTO	31
10. BIBLIOGRAFÍA.....	32
11. ANEXOS(Hojas de recogida de datos)	35



Universidad de Oviedo

1. INTRODUCCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento clave a la hora de satisfacer las mínimas necesidades del ser humano y representa el recurso clave de procesos industriales, de manufactura o agropecuarios; entre otros, los cuales, a su vez, soportan y contribuyen al desarrollo pleno de las personas. Además, claro está, de ser el recurso vital para el mantenimiento de ecosistemas como fuente de alimento y recursos, para soportar la vida en la tierra.

En términos cuantitativos, 97% del agua existente en la tierra corresponde a mares y océanos. Alrededor de 2,3% está bajo la forma de hielo en los círculos polares. El 0,3% se localiza en capas profundas de la tierra y no es posible su extracción a un costo razonable, utilizando las actuales técnicas disponibles. El restante 0,4% se encuentra distribuida a lo largo de ríos, lagos o en el subsuelo. Estas cifras apoyan aún más, el carácter de bien escaso ypreciado del agua; lo cual se agrava al tomar en cuenta el sustancial incremento de los procesos de contaminación a los cuales son sometidas esas fuentes, desde diversos frentes provenientes de la acción antrópica, principalmente los últimos 100 años (1).

La disponibilidad y el acceso al agua potable para todos los seres humanos a nivel mundial, es un derecho humano fundamental, establecido por la Organización de Naciones Unidas (2,3), donde se hace patente la necesidad de la misma, como parte fundamental de la salud, y como pieza clave para la vida del planeta y de todos los seres vivos que lo integran. Este hecho ha sido suscrito por líderes de 189 países integrantes, durante la Cumbre del Milenio, y de donde surgieron los conocidos Objetivos del Milenio (ODM) (4,5), y promovidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (6) y por el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.



Universidad de Oviedo

En el marco del desarrollo del 7º ODM, se obligó a cada país firmante a reducir a la mitad, para el 2015, la proporción de personas sin acceso al agua potable. Se pretendía con esto, que en el año 2015, el 92% de la población mundial tuviera acceso al agua potable. El éxito en los esfuerzos para proporcionar un mayor acceso a dicho recurso es un testimonio para todos aquellos que consideran los ODM, como una condición vital para mejorar las vidas de millones de las personas.

A pesar de que esto, no deja de representar un gran triunfo, no podemos olvidar que actualmente, en torno a 1.800 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable (6), con los consiguientes problemas de salud que esto conlleva. De estos, más del 40% de todas las personas en el mundo que carecen de acceso al agua potable viven en África subsahariana.

A todo lo anterior, tenemos que sumar otro hecho de relevancia máxima, relacionado íntimamente con el agua, y es lo referente al saneamiento de la misma, registrándose datos mucho más preocupantes en cuanto a proporción y acceso de la población, a un saneamiento eficaz, ya que, a pensar de que se tiene interiorizado, la necesidad clara y evidente del agua potable para la fisiología de todos los seres vivos, no siempre se ve el agua como un claro transmisor de enfermedades con desenlaces fatales para salud, y que en la mayoría de los casos, no se están valorando como prioritario (6).

En este contexto se inscribe la presente investigación dirigida a contextualizar la importancia del saneamiento y depuración como elementos clave del desarrollo de la salud; destacando la situación actual en Asturias como ámbito de estudio. La relevancia del mismo se sustenta fundamentalmente, en la íntima relación existente entre salud pública y el agua, así como recalcar la importancia del agua, como vehículo transmisor de diferentes moléculas



Universidad de Oviedo

contaminantes, entre las que se encuentran contaminantes emergentes, como es el caso de los fármacos que la población excreta, tras el consumo habitual de la mayor parte de ellos, afectando a los ecosistemas naturales donde desembocan las aguas residuales, una vez tratada, y donde puede ocurrir una contaminación cruzada de las fuentes de aguas potables

Es, por tanto, de su pleno conocimiento se deriva el necesario trabajo para lograr erradicar de manera efectiva diversas enfermedades cuyo origen hídrico amerita un extensivo control de calidad del agua dirigido a evitar el significativo número de fallecimientos a nivel mundial, debido a la ingesta de agua contaminada (6).



Universidad de Oviedo

2. ESTADO ACTUAL DEL TEMA

2.1. Generalidades del agua contaminada

Al hablar de contaminación del agua, se hace referencia a la resultante de adicionar cualquier tipo de sustancia o forma biológica capaz de alterar la calidad de este recurso, al punto de impedir su utilización (7). Por tanto y en términos amplios, las enfermedades transmitidas por agua contaminada se catalogan como de origen químico (cualquier tipo de sustancia tóxica para el organismo) y de origen biológico (proveniente de virus, bacterias o parásitos) (8).

Frente a la contaminación convencional identificada con Sólidos en Suspensión, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) compuestos de nitrógeno y fósforo, conductividad, cloruros, sulfatos, fenoles, algunos metales pesados, etc., la contaminación emergente contempla diversos metales pesados distintos a los habituales (Hg, Pb, Cu, Zn..), sustancias plaguicidas, disolventes alquílicos y aromáticos, hidrocarburos aromáticos más o menos complejos, compuestos órgano-metálicos (muchos de estos compuestos son sustancias prioritarias) restos de detergentes, antibióticos, analgésicos, anovulatorios, drogas y en realidad cualquier resto o metabolito con cierta actividad biológica, de los diferentes preparados que el hombre emplea en su actividad doméstica, industrial e incluso sanitario, por propia fisiología del ser vivo, o por el deshecho de una gran parte de los mismos, por las redes de saneamiento. La presencia de estos contaminantes, de base, resultan peligrosos ya que muchos de ellos son reconocidos disruptores endocrinos (9).

A medida que avanza la industrialización, la tecnología y la farmacopea, la cantidad de sustancias químicas que llegan al agua, es muy alta, dato que siempre va en alza, ya que día a día, se están desarrollando y creando, nuevas sustancias con fines diversos, que contaminan aguas superficiales y subterráneas, y que, en el peor de los casos, no pueden ser eliminadas en



Universidad de Oviedo

procesos de depuración y/o de potabilización, llegando a estar presentes, de forma persistente, en aguas ya tratadas.

El Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, publicado en el BOE el 22 de enero de 2011, tiene como finalidad *“trasponer todos los aspectos contenidos en la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 diciembre de 2008. Asimismo, incorpora los requisitos técnicos sobre análisis químicos establecidos en la Directiva 2009/90/CE de la Comisión, de 31 de julio de 2009, es decir, los criterios mínimos que se deberán aplicar a los métodos de análisis para el seguimiento del estado de las aguas, sedimentos y seres vivos, así como las normas dirigidas a demostrar la calidad de los resultados analíticos. De este modo ambos textos legislativos quedan incorporados al ordenamiento interno español”* (10).

En concreto, este real decreto tiene por objeto establecer las Normas de la Calidad del Agua (NCA) para las sustancias prioritarias y para otros contaminantes de riesgo en el ámbito europeo; y para las sustancias preferentes de riesgo en el ámbito estatal. Asimismo, incorpora las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas, y fija el procedimiento para calcular los procedimientos de calidad (Norma de Calidad Ambiental (NCA): concentración de un determinado contaminante, o grupo de contaminantes), con objeto de conseguir un buen estado de las aguas (10).

Se entiende, según este RD, como *“Sustancia preferente”*, al contaminante que presenta un riesgo significativo para las aguas superficiales españolas debido a su especial toxicidad, persistencia y bioacumulación o por la importancia de su presencia en el medio acuático. Por otro lado, *“Sustancia prioritaria”*, es la sustancia que presenta un riesgo significativo para el medio acuático comunitario, o a través de él, incluidos los riesgos de esta índole para las aguas



Universidad de Oviedo

utilizadas para la captación de agua potable, y reguladas a través del artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 (10),

De entre todas las fuentes de agua existentes, las de carácter superficial han sido el medio de soporte del desarrollo de los primigenios asentamientos humanos; han proveído el abastecimiento requerido por todas aquellas actividades socioeconómicas adelantadas en esos primeros núcleos urbanos. Sin embargo y paradójicamente, esas mismas actividades son responsables de alterar y deteriorar esas fuentes de agua, principalmente dada la contaminación natural producida por el arrastre y deposición hasta los reservorios de agua de material de desecho, a través de la presencia de materia orgánica u otro tipo de residuo proveniente de actividades antrópicas, tal como descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola o efluentes de procesos industriales (11).

Este tipo de riesgo resulta al comparar la vulnerabilidad de la población frente a una amenaza o algún factor de riesgo y se cataloga como de carácter agudo o crónico (León, 2001). Si se trata del riesgo agudo, este se relaciona con la posibilidad de enfermarse a muy corto plazo, al estar expuesto de manera directa con dosis bajas de agua con contaminación microbiológica. Por otra parte, el riesgo crónico, se asocia a la presencia de contaminantes de naturaleza química (compuestos orgánicos e inorgánicos) capaces de afectar la salud del ser humano tras largos períodos de exposición al agente contaminante. De todos ellos, el riesgo agudo presenta prioridad para su control, dado su significativo impacto dañino sobre la salud pública y el riesgo crónico, generalmente se aborda como una segunda prioridad en sistemas de abastecimiento expuestos a contaminación microbiológica severa (12).

Aunado a lo anterior, hoy día se torna un tema de prioritaria atención la aparición de los denominados, contaminantes emergentes, catalogados como tal, dado el desconocimiento



Universidad de Oviedo

previo sobre su existencia, hasta hace apenas unas décadas atrás. Son generados por el actual desarrollo de nuevos hábitos y estilos de vida de la población. Este tipo de contaminantes, si bien no son de naturaleza reciente, pasaron desapercibidos durante mucho tiempo a la hora de realizar los análisis de calidad del agua, ignorando, por tanto, sus efectos sobre la población o el ser humano. Su importancia como elemento contaminante surge al disponer de tecnología y métodos capaces de detectarlos, posibilitando cuantificar su impacto en el entorno, dada su continua producción y liberación (bajo diversas modalidades) al ambiente (12).

Tal como se aprecia, el tema de la contaminación de agua y su impacto en la población, se torna un tema crítico y con muchas aristas a la hora de abordarlo. No sólo desde su perspectiva de salud pública como objeto de análisis en este estudio, sino como factor vital de desarrollo de los pueblos al estar asociado a la permanencia en un área determinada de asentamientos poblacionales y todas aquellas socioeconómicas inherentes a las mismas. Es en este punto donde la potabilización, abastecimiento, saneamiento y depuración, resultan ser elementos clave en el desarrollo de la salud.

La presencia de contaminantes emergentes en aguas es cada vez mayor. Especialmente preocupan los antibióticos, debido a que pueden dar lugar a la aparición de bacterias resistentes, pero también a que dichos antibióticos pueden afectar negativamente a los ecosistemas y a los organismos que los habitan. Los antibióticos empleados para el consumo humano terminan llegando a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) donde se ha visto que se eliminan solo en parte. Pero así mismo, encontramos otro sinfín de fármacos de consumo habitual, pueden provocar algún riesgo ecotoxicológico para los diferentes organismos acuáticos (13-15).



Universidad de Oviedo

Los fármacos en general, y los antibióticos en particular, tras ser consumidos son metabolizados solo en parte en el organismo, por lo que en su mayoría son excretados y vertidos al medio ambiente a través de la orina o de las heces. Sin embargo, en la mayoría de los casos los antibióticos consumidos por los humanos van a parar a las aguas residuales. Dichas aguas normalmente se depuran en estaciones depuradoras (EDAR), pero estas no fueron diseñadas para eliminar antibióticos, por lo que estos compuestos en algunos casos no son completamente eliminados y siguen estando presentes en sus efluentes.

Paralelamente a lo anterior, el agua residual es la principal fuente de nutrientes y productos farmacéuticos y de cuidado personal para los sistemas acuáticos, y deben considerar cuidadosamente sus impactos con el aumento de la población urbana y el envejecimiento demográfico, así como el impacto acumulativo del desarrollo urbano, incluidos múltiples emisarios de efluentes de aguas residuales tratadas en las poblaciones y comunidades de peces (16).

a. Procesos de Saneamiento - Depuración

El vertiginoso crecimiento de la actividad humana los últimos años, ha impulsado una continua y sostenida expansión de la demanda de agua desde diferentes frentes productivos, destacando de manera particular, el aumento del volumen destinado a satisfacer requerimientos de una población cada vez mayor y por otro lado; aquella demandada desde sectores como el agroalimentario para destinarla tanto para la producción primaria, como para la transformación agroindustrial para esos productos agropecuarios; transformando al sector en forma conjunta, como de los mayores consumidores y responsables del vertido de aguas residuales contaminadas al entorno donde hacen vida (18). Claro está, sin dejar de mencionar aquellos volúmenes destinados al sector industrial, propiamente dicho.



Universidad de Oviedo

Como inevitable consecuencia de todas estas actividades humanas e industriales, se llegan a generar significativos volúmenes de aguas residuales, cuya composición y características impiden su uso inmediato en otras actividades productivas desarrolladas por el ser humano, además de ser fuente primaria de contaminación de otros reservorios de agua y de ecosistemas completos, convirtiéndose en un crítico problema para la salud pública de la población.

En este sentido y a efectos de circunscribir el alcance del estudio, se asume la definición de agua residual desde la perspectiva emanada de la normativa jurídica correspondiente, atendiendo a la clasificación descrita en la misma:

1. Aguas residuales urbanas: conformadas por aguas residuales domésticas; además de la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
1. Aguas residuales domésticas: son aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y servicios, generadas principalmente por metabolismo humano y actividades domésticas.
2. Aguas residuales industriales: aguas residuales vertidas desde locales con actividad comercial o industrial; distinta de las aguas residuales domésticas y de escorrentía pluvial.

En el caso de las aguas residuales urbanas, estas representan un riesgo de contaminación de primera línea para la población, dado su mayor cercanía y contacto permanente. Por lo general, su composición representa una compleja mezcla de materia orgánica e inorgánica donde hacen vida distintos tipos de micro y macroorganismos. Esta característica convierte al agua residual en el medio ideal para dispersar infinidad de compuestos potencialmente peligrosos, ya sea para la salud humana, como factor de degradación del ambiente, asociado en la mayoría de los casos a la contaminación de fuentes de suministro de agua doméstica, la cual sino es tratada adecuadamente mediante procesos de potabilización, coadyuva a incrementar los cuadros de salud pública (8).



Universidad de Oviedo

En este sentido y si bien la casi totalidad de los efectos sobre el ser humano causados al estar en contacto con agua contaminada se reconocen de manera inmediata, existe una mínima fracción cuyos daños son perceptibles sólo hasta después de pasados meses e incluso años. Esta situación obliga por tanto a enfatizar los mecanismos de control referidos al tratamiento, depuración y posterior vertido de las aguas servidas, nuevamente al entorno (19).

En términos generales, en las aguas residuales están presentes un conjunto de contaminantes los cuales deben ser caracterizados previamente a efectos de aplicar el tratamiento de depuración más conveniente en cada caso. De esta manera, se pueden identificar los siguientes tipos de contaminantes (20):

- * Materiales flotantes: aceites, grasas, plásticos, material celulósico u otro similar.
- * Materia coloidal disuelta: orines y heces disueltas, aceites y grasas en emulsión, tensoactivos y detergentes, microorganismos patógenos, sustancias nitrogenadas (proteínas y urea), hidratos de carbono (azúcares y celulosa); y sales (sulfatos, fosfatos, silicatos y perboratos).
- * Materia suspendida y sedimentable: metales, pelos, restos de alimentos y arenas.

Sobre este punto en particular, el papel de las estaciones depuradoras de aguas residuales es vital a la hora de aminorar (o en muchos casos, eliminar) los potenciales riesgos de las aguas contaminadas para el colectivo de personas. Estas plantas, básicamente corresponden a instalaciones destinadas a depurar aguas residuales provenientes de núcleos urbanos o complejos industriales; de manera de reducir considerablemente su grado de contaminación a través de la aplicación de diversos tratamientos físicos, químicos y biológicos; para posteriormente verter el agua tratada en zonas de vertido destinadas específicamente a tal fin (21).



Universidad de Oviedo

Por tanto, el objetivo clave de toda estación depuradora se centra en disminuir hasta un grado mínimo de secuelas para la población y el ambiente, los efectos adversos del agua residual. Para ello se aplican un conjunto de tratamientos de depuración dirigidos a aminorar la carga contaminante de las aguas residuales y alcanzar un nivel aceptable el cual permita un vertido asimilable por el medio acuático receptor o alcanzar un grado de reutilización en otros sectores como la agrícola o industrial. Así, una reseña general de los tratamientos aplicados durante el proceso de depuración incluye los siguientes (22):

1. Pretratamiento: realizado en los denominados pozos gruesos, desbaste (basado en la existencia de rejillas y tamices, y sistemas de desarenado y desengrase, dirigidos a eliminar sólidos o grasas.
1. Tratamiento primario: corresponde a un tratamiento de carácter físico – químico dirigido en donde se utiliza fundamentalmente, mecanismos de decantación, floculación y coagulación.
2. Tratamiento secundario: enfocado en la adecuación biológica de las aguas utilizando para ello, fangos activados y otros muchos sistemas tratamiento, siempre de naturaleza microbiana, y decantación secundaria para retener fracciones de sedimentos aún presentes en el cuerpo del agua, así como los fangos o microbiología empleada en el proceso de depuración biológica.
3. Tratamiento terciario; es el más novedoso. Hoy día ha incorporado el uso de tecnología filtración en membrana o filtros de anillo, desinfección por ultravioleta, dióxido de cloro o incluso hipoclorito sódico. A mayores, también se completa con la eliminación de fósforo, mediante la adición de una sal metálica que favorezca la precipitación del ortofosfato, previo a la filtración, del tipo que sea. Todas estas acciones, han contribuido a un grado de depuración óptimo, mejorando ampliamente las condiciones del agua tratada para su vertido



Universidad de Oviedo

final, o incluso para su reutilización en riegos de parques y jardines, o para el baldeo de calles, siempre ajustándose a las calidades fijadas en la legislación vigente.

En concordancia con lo anterior y en el caso particular de España, la normativa correspondiente (BOE, 1995) define el tratamiento de aguas residuales urbanas, refiriéndose a aquel “*tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable*”. Sin embargo, hasta el momento la mayoría de las estaciones depuradoras aplican sólo tratamientos de tipo primario y secundario; siendo muy pocas donde se aplica el terciario; a pesar de haberse demostrado la efectividad de este tipo de tratamiento en el proceso de eliminación de compuestos y depuración de estas aguas (23).

En sintonía con la premisa anterior, existe un conjunto de métodos e indicadores utilizados en forma generalizada para cuantificar el grado de contaminación presente en las aguas residuales. La mayoría de ellos son de carácter físico-químico. De entre todos estos, se pueden señalar como de uso más habitual, los siguientes (20):

1. Demanda química de oxígeno (DQO): referida a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos.
2. Demanda biológica de oxígeno (DBO): corresponde a la cantidad bioquímica de oxígeno consumida por microorganismos. Se expresa en mg O₂/l.
3. Sólidos en suspensión (SS): se utiliza para cuantificar el impacto de los sólidos a lo largo del cauce receptor.
4. N-NH₄:
5. N-NO₃



Universidad de Oviedo

6. Fósforo total (PT)

7. Contaminantes emergentes (Plaguicidas, fármacos, etc)

Los fármacos conforman un elemento crucial en la medicina de nuestros tiempos, pero su uso desmedido ha generado una serie de impactos en los ecosistemas, afectando el comportamiento de especies y contaminando las aguas (23).

A nivel global la fuente principal de esta polución son las aguas residuales urbanas, es decir, los fármacos desechados o expulsados con la orina, si bien ciertas zonas están afectadas por los vertidos de la industria, los hospitales o la ganadería.

b. Justificación

El panorama descrito en el acápite anterior remarca en forma determinante, la importancia clave en la formación de un profesional de la salud, como en este caso, la enfermería; respecto al tema de la calidad del agua y su impacto en la población como tema de salud pública. Ante tal situación, ser capaz de manejar un actualizado nivel de conocimientos asociados a tan relevante tópico, resulta crucial para adaptarse eficientemente a futuras situaciones críticas y disponer de herramientas para afrontar a cabalidad cualquier contingencia imprevista.

De esta manera, la relevancia asociada con el desarrollo de un estudio como el propuesto, sin lugar a dudas queda plenamente justificado al entender la importancia capital del agua, el saneamiento y la depuración, como elementos neurálgicos de todo plan orientado a consolidar un estado óptimo de salud pública en cualquier comunidad: al garantizar el acceso a agua de calidad, junto a la provisión de instalaciones sanitarias adecuadas, se habrán creado las condiciones mínimas necesarias para limitar o erradicar un significativo conjunto de enfermedades.



Universidad de Oviedo

Por tanto, es indiscutible la perentoria necesidad de desarrollar esquemas dirigidos a proteger la salud pública a través del suministro de agua segura para su consumo, así como la depuración de las aguas residuales antes de verter a cauce, por la relación que se tiene con la degradación de los ecosistemas, alteraciones de la salud.

La relevancia de los fármacos como contaminantes emergentes en el medio ambiente ha sido ampliamente descrita en los últimos años, y la preocupación por sus posibles efectos negativos sobre el medio acuático es cada vez mayor (24,25).

La presencia de contaminantes emergentes en el medio ambiente, como los productos farmacéuticos, es una preocupación global creciente. El uso excesivo de medicamentos a nivel mundial, junto con la obstinación de los productos farmacéuticos en los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales, ha provocado que estos compuestos presenten un grave problema ambiental. En los últimos años, el aumento de su disponibilidad, acceso y consumo de drogas ha provocado un aumento sustancial de las concentraciones en los cuerpos de agua. Considerados como contaminantes emergentes, los productos farmacéuticos representan un desafío en el campo de la remediación ambiental; por lo tanto, continuamente se desarrollan sistemas complementarios alternativos para las plantas de tratamiento de aguas residuales tradicionales para mitigar su impacto y reducir sus efectos sobre el medio ambiente y la salud humana.

Los residuos de antibióticos son motivo de gran preocupación en el ecosistema debido a su capacidad para mediar en el desarrollo de resistencia a los antibióticos entre los microbios ambientales. La relevancia de los fármacos como contaminantes emergentes en el medio ambiente ha sido ampliamente descrita en los últimos años, y la preocupación por sus posibles efectos negativos sobre el medio acuático es cada vez mayor (24-26).



Universidad de Oviedo

6. OBJETIVOS

a. Objetivo general

Determinar los contenidos de fármacos, dentro de lo que se conoce como contaminantes emergentes, en las aguas residuales, antes y después del tratamiento de depuración, y previo al de vertido final en la tres EDARs principales de la ciudad de Oviedo.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

a. Tipo de estudio

Estudio descriptivo, observacional, retrospectivo.

b. Ámbito, tiempo y lugar de estudio

El presente proyecto de investigación pretende estudiar la presencia de determinados fármacos, dentro de los conocidos como contaminantes emergentes en las aguas residuales que se tratan en las EDARs principales de la ciudad de Oviedo (EDARS de Villaperez, San Claudio y Las Caldas), así como su posible eliminación como resultado de tratamientos que integran su proceso de depuración. Para ello, se realizarán análisis cuantitativos en tres campañas de muestreo (M1, M2 y M3) repartidas a lo largo de los seis primeros meses del 2024.

Nos referiremos a estas 3 EDARs gestionadas por el ente público más relevante a nivel provincial, como es el caso del Consorcio de Aguas de Asturias, que actualmente gestiona, a nivel de saneamiento, 35 sistemas de saneamiento con 33 estaciones depuradoras (EDARs), a las que se suman varios km de colectores.

Ilustración 1. EDAR DE VILLAPEREZ



Realizada y cedida por el Consorcio de Aguas de Asturias

- EDAR de Villapérez. Carretera de Villapérez Km 2, 33194 Oviedo ($X= 43.40129$, $Y= -5.80041$). Diseñada para 259.125 habitantes equivalentes. Capacidad máxima instantánea de pretratamiento de 4.875 litros por segundo. Forma parte del sistema de Saneamiento de la cuenca del río Nora en la Zona Central de Asturias y fue construida por la Confederación Hidrográfica del Norte (ahora, Confederación Hidrográfica del Cantábrico). La EDAR de Villapérez recoge los vertidos correspondientes a los Concejos de Oviedo, Siero, Noreña y Llanera.



Universidad de Oviedo

Ilustración 2. EDAR DE SAN CLAUDIO



Realizada y cedida por el Consorcio de Aguas de Asturias

- EDAR de San Claudio: Carretera de Sendín – San Claudio s/n, 33191, Oviedo (X=43,353480, Y=: -5,924992). Diseñada para 20.000 habitantes equivalentes. Capacidad máxima instantánea de pretratamiento de 440 litros por segundo. Trata las aguas residuales procedentes de la zona Oeste de Oviedo y de los núcleos rurales de la cuenca del arroyo San Claudio.

Ilustración 3. EDAR DE LAS CALDAS



Realizada y cedida por el Consorcio de Aguas de Asturias



Universidad de Oviedo

- EDAR de Las Caldas: Casielles – Las Caldas s/n, 33174 Oviedo (X= 263188.03; Y= 4801022.31) Diseñada para 80.000 habitantes equivalentes. Capacidad máxima instantánea de pretratamiento de 1094 litros por segundo. Presta servicio a los municipios de Oviedo y Ribera de Arriba.

c. Criterios de inclusión y exclusión

En este sentido y de acuerdo con los objetivos planteados, la data objeto de tratamiento estará conformada por todos aquellos registros correspondientes a contaminantes emergentes íntimamente relacionados con los fármacos de consumo habitual.

Quedan excluidos, los parámetros relacionados con la carga contaminante carbonatada como es el caso de la DQO y la DBO5, así como los sólidos en suspensión, la carga nitrogenada y los compuestos de fósforo, así como el resto de los contaminantes emergentes potencialmente registrables, como es el caso de los plaguicidas

d. Instrumento

Se realizó una hoja de recogida de datos ad hoc. (Anexo 1) que incluía los caudales tratados, el análisis practicado, tipo de fármaco analizado, análisis cuantitativo, frecuencia del análisis y rendimientos.

e. Variables a estudio

1º EDARS: Identificación de las EDARs

- **EDAR de Villaperez.**
- **EDAR de Las Caldas**
- **EDAR de San Claudio.**

2º Caudales Tratados: Categorizados en m3/año.

3º Parámetros de control

Tabla 1. Prámetros de control

Variable	Cualitativa / Cuantitativa	Unidades
<u>EDAR</u>	Cualitativa	Tipo
<u>CAUDALES</u>	Cuantitativa	m3/año
<u>FARMACOS</u>	Cuantitativas-> <i>En el caso de detectado, no cuantificado. Concentración inferior al valor límite para la cuantificación. Se identificara con la letra "D" "</i>	(ng/L)/LCL*
Acetaminophen		10
Alprazolam		5
Atorvastatin		5
Azitromycin		10
Ciprofloxacín		50
Clarithromycin		5
Clindamycin		10
Diclofenac		5
Enalapril		5
Gabapentin		1000
Gemfibrozil		1000
Ketoprofen		1000
Lorazepam		10
Losartan		5
Metronidazole		5
Naproxen		250
Norfloxacin		50
Omeprazole		5
Pantoprazole		5
Salbutamol		5



Universidad de Oviedo

Simvastatin		50
Sulfadiazine		5
Tetracycline		5
Tramadol		5
Trimethoprim		5
Valsartan		5
Venlafaxin		5
*LCL		Límite de cuantificación

Elaboración propia

f. Procedimiento

Una vez obtenida la autorización del Comité de Ética de la Investigación del Principado de Asturias y el Consorcio de Aguas de Asturias, se solicitará a cada estación depuradora, su autorización para tener acceso a los datos necesarios para completar el estudio; posterior a lo cual, se procederá a conformar la base de datos con los ítems de estudio, diferenciándolos por EDAR y finalizar con el tratamiento estadístico correspondiente.

Se realizará un análisis cuantitativo en tres campañas de muestreo (M1, M2 y M3) repartidas a lo largo de seis meses:

- M1-> Periodo comprendido entre enero y febrero de 2024
- M2-> Periodo comprendido entre marzo y abril de 2024
- M3-> Periodo comprendido entre mayo y junio de 2024

Mediante el análisis comparado de las aguas de entrada y de salida de cada EDAR, para estimar la eficiencia de la planta en la eliminación de los fármacos estudiados.

Se tomarán muestras diarias, compuestas de 24h, a lo largo de 7 días a la entrada y la salida de la EDAR. Las muestras serán tomadas por personal de la planta, mediante tomamuestras



Universidad de Oviedo

automáticos y remitidas al IUPA inmediatamente después de haberse recogido la última muestra de la semana. Las muestras llegarán congeladas al laboratorio en un plazo de 24h en buen estado.

Ilustración 4. Toma muestras automático



Cedido por el Consorcio de Aguas de Asturias



Universidad de Oviedo

Ilustración 5. Preparación de muestras.



Muestras almacenadas y congeladas



Imágenes de preparación de muestras en el laboratorio del Instituto Universitario de Plaguicidas y Agua (IUPA)

Imágenes cedidas por IUPA

La metodología analítica a aplicar consistirá en un método cuantitativo de análisis basado en el acoplamiento de cromatografía líquida de ultra resolución-espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS) con analizador de triple cuadrupolo (QqQ). La excelente sensibilidad y selectividad alcanzadas con la moderna instrumentación analítica, permitirá la inyección directa de las muestras de agua, sin tratamiento/pre-concentración previo, con lo cual se minimizan notablemente los potenciales errores analíticos asociados a la etapa de tratamiento de muestra (21).

g. Tratamiento de muestra

Los análisis se realizarán sin ningún tipo de pre-concentración de la muestra, aplicando simplemente una centrifugación y dilución de la muestra con agua ultrapura, tipo Milli Q (dil x5 para agua de entrada a la EDAR, y dil x2 para agua de salida de la EDAR).



Universidad de Oviedo

El tratamiento aplicado a las muestras será el siguiente:

- 1 mL de agua de cada muestreo, tanto de entrada como de salida de la EDAR se centrifugará a 12.000 rpm durante 10 min. Posteriormente, en un vial de inyección se añadirán:

- Para aguas de entrada, 200 μ L de la muestra centrifugada, 750 μ L de agua milliQ y 50 μ L de una disolución de ILIS de concentración 1 ng/mL.

- Para aguas de salida, 500 μ L de la muestra centrifugada, 450 μ L de agua milliQ y 50 μ L de una disolución de ILIS de concentración 1 ng/mL. (*ILIS*-> *patrones internos marcados isotópicamente*).

Finalmente, se inyectará 50 μ L en el sistema UHPLC-MS/MS, de cada una de las muestras objeto de estudio.

h. Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectuará mediante el programa R (R Development Core Team), versión 3.4.3. y SPSS v22. Se realizará un análisis descriptivo de cada variable, proporcionando la distribución de frecuencias y porcentajes para variables cualitativas, y medidas de posición tales como la media, mediana, desviación típica y rango, en el caso de variables cuantitativas.

Para la comparación de variables cuantitativas entre dos grupos se llevará a cabo a través del test t de Student para muestras independientes; la comparación de variables cuantitativas entre 3 categorías se realizará con ANOVA, previa comprobación de las hipótesis de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (test de Bartlett y test de Ansari-Bradley). El coeficiente de correlación de Pearson o de Spearman y el contraste de hipótesis asociado se



Universidad de Oviedo

emplearán para el estudio de relación lineal entre variables continuas en función del cumplimiento o no de la hipótesis de normalidad. Se empleará un nivel de significación de 0,05.

i. Consideraciones éticas

Este proyecto de investigación sigue las recomendaciones de la Declaración de Helsinki y se ha realizado de acuerdo con los principios y normas éticas básicas recogidas en el Convenio sobre los Derechos Humanos y la Biomedicina (Convenio de Oviedo).

Todo el proceso contará con la autorización del Comité de Ética e Investigación del Principado de Asturias, así como de dirección de cada depuradora estudiada.

j. Limitaciones del estudio

Las limitaciones del estudio se asocian básicamente a dos tipos de variables:

- Por un lado, lo relativo al acceso a las bases de datos registradas en cada una de las estaciones depuradoras; así como la realización en estas dependencias, de los análisis considerados en la investigación.
- Por otro lado, es importante destacar lo relativo a los recursos asociados al traslado y la logística necesarios para obtener la información correspondiente de cada una de estas dependencias.

Existe la posibilidad de incurrir en un error aleatorio debido a la toma aleatoria de muestras del agua a analizar, por lo que se intentará solventar, estableciendo un programa de muestreo y control analítico lo suficientemente exhaustivo.



Universidad de Oviedo

8. CRONOGRAMA

FASE I: Preparación de la investigación

2023	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Revisión bibliográfica					
Acotación del problema a investigar					
Planteamiento de objetivos e hipótesis de estudio					
Selección del método a utilizar					
Definición de las muestras					

FASE II: Elaboración de instrumentos de recogida de datos y aplicación

2023	Noviembre	Diciembre
Elaboración del documento registro de datos		
Recogida de datos		

FASE III: Análisis de los datos recogidos

2024	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Recogida de datos						
2024	Julio					
Contacto con las bases de datos y recogida de los mismos.						
Exportación de datos a SPSS 20.0 y R						
Análisis de datos con SPSS 20.0 y R						

FASE IV: Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

2024	Septiembre
Discusión de los resultados	
Producción de conclusiones	



Universidad de Oviedo

9. PRESUPUESTO

Los gastos previsibles para la realización de este proyecto se han desglosado en los siguientes puntos:

Material para bibliografía → se prevé un gasto de 300 € distribuidos en 6 meses para la adquisición de revistas, libros y material complementario.

Material fungible → se prevé la necesidad de unos 5.000 € para el material fungible de recogida de muestras y para la remisión de las mismas a la IUPA, así como para el abono de las analíticas a realizar.

Se prevé de igual modo una partida presupuestaria de 150 €, para la impresión de las tablas de resultados, así como de la diferente legislación, al respecto, que regula todos los procesos y resultados señalados.

Otros gastos →

- Se prevé que se deberán tener disponibles 4.000 € repartidos en 6 meses para sufragar los gastos de la publicación de los resultados obtenidos en revistas en formato Open Access.
 - a. Estadístico.
 - b. Traducción del manuscrito.
 - c. Publicación en revistas tipo Open Access
 - d. Inscripciones a congresos.

Por lo tanto, según lo desarrollado anteriormente serían necesarios **9.450 €** por lo que se solicitarán **10.000 €** de presupuesto total.



Universidad de Oviedo

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Soulier M, Ducci J, Altamira M, Perroni A. Agua Potable, Saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. 2013.
- 2.- Naciones Unidas. Declaración Universal de los Derechos Humanos [monografía en Internet]. Organización de las Naciones Unidas. 1948 [acceso 16 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
- 3.- Organización Mundial de la Salud. Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras [monografía en Internet]. Organización Mundial de la Salud. 2004 [acceso 20 de febrero de 2023]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69491/factsfigures_2004_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 4.- Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible [monografía en Internet]. Organización de las Naciones Unidas. 2015 [acceso 20 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- 5.-. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 [monografía en Internet]. Organización de las Naciones Unidas. 2015 [acceso 22 de febrero de 2023]. Disponible en https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- 6.- Organización Mundial de la Salud. Agua para consumo humano [monografía en Internet]. Organización Mundial de la Salud. 2022. [acceso 23 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- 7.- Henningman R. La contaminación del agua. En: Strobbe M. Origen y control de la contaminación ambiental. México: Centro Regional de Ayuda Técnica; 1973.
- 8.- Córdoba MA, Del Coco VF, Basualdo JA. Agua y salud humana. Química Viva. 2010;9(3):105–19.
- 9.- Donoso R, Cortés S. Exposición a nitratos en agua y su relación con disfunción de la glándula tiroides: revisión sistemática ¿Existen riesgos para la salud de la población? [Exposure to nitrates in drinking water and its association with thyroid gland dysfunction. Rev Med Chil. 2018;146(2):223–31.



Universidad de Oviedo

- 10.- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas (Boletín Oficial del Estado, 19, 22 de enero de 2011) Ley aprobada.
- 11.- Torres P, Cruz C, Patiño P. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías*. 2009;8(15):79–94.
- 12.- WHO. The World Health Report 1997: conquering suffering, enriching humanity. *World Health Forum*. 1997;18(3-4):248-60.
13. Karkman A, Do TT, Walsh F, Virta MPJ. Antibiotic-Resistance Genes in Waste Water. *Trends Microbiol*. 2018 Mar;26(3):220-228. doi: 10.1016/j.tim.2017.09.005.
14. Mahaney AP, Franklin RB. Persistence of wastewater-associated antibiotic resistant bacteria in river microcosms. *Sci Total Environ*. 2022 May 1;819:153099.
15. Nassiri Koopaei N, Abdollahi M. Health risks associated with the pharmaceuticals in wastewater. *Daru*. 2017;25(1):9.
16. Tetreault GR, Brown CJ, Bennett CJ, Oakes KD, McMaster ME, Servos MR. Fish community responses to multiple municipal wastewater inputs in a watershed. *Integr Environ Assess Manag*. 2013;9(3):456-68.
- 17.- Petrovic M, Barceló D. Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *Trends Anal Chem*. 2003; 22:685–96.
- 18.- Winpenny J, Heinz I, Oshima K. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? [monografía en Internet]. Food Agriculture Organization. 2013. [fecha de consulta]. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/278493/>
- 19.- Ashraf M, Mahmood K, Maah M, Yusoff I, Gharibreza M. Effects of polluted water irrigation on environment and health of people in Jamber, District Kasur, Pakistan. *District Kasur, Pakistan International Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010;10(3):37–57.



Universidad de Oviedo

- 20.- Ortega E, Ferrer Y, Salas J, Aragón C, Real Á. Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; 2015.
- 21.- Moral E, Gallego L, García F, Román I. Depuración de aguas residuales y uso de aguas regeneradas: Un análisis descriptivo del caso de la provincia de Jaén. *Agua y Territorio*. 2021; 17:77–91.
- 22.- González S, Petrovic M, Barceló D. Removal of a broad range of surfactants from municipal wastewater - Comparison between membrane bioreactor and conventional activated sludge treatment. *Chemosphere*. 2007;67(2):335–43.
- 23.- Ortúzar M, Esterhuizen M, Olicón-Hernández DR, González-López J, Aranda E. Pharmaceutical pollution in aquatic environments: A concise review of environmental impacts and bioremediation systems. *Front Microbiol*. 2022;13:869332.
- 24.- Boix C, Ibáñez M, Sancho JV, Rambla J, Aranda JL, Ballester S, et al. Fast determination of 40 drugs in water using large volume direct injection liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*. 2015;131:719–27.
- 25.- Botero-Coy AM, Martínez-Pachón D, Boix C, Rincón J, Castillo N, Arias-Marín LP, et al. An investigation into the occurrence and removal of pharmaceuticals in Colombian wastewaters. *Sci Total Environ*. 2018; 642:842–53.
- 26.-. Gracia-Lor E, Sancho JV, Serrano JV, Hernández F. Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the Spanish Mediterranean area of Valencia. *Chemosphere*. 2012;87(5):453–62.

