

1. Estructura del Estudio

1. Estructura del Estudio

La estructura de este trabajo se inicia con los antecedentes, donde se habla primeramente sobre la problemática general de la polución en las aguas, haciendo inca pié en el origen y tipos de contaminación. Siguiendo en la dinámica de la problemática se comenta el problema específico que hemos tratado, haciendo referencia a la empresa Tàndem que nos ha proporcionado los datos y ha planteado la idea de este proyecto. Previo a la explicación de la orientación y objetivos del proyecto, se ha adjuntado la legislación.

En la introducción se pretende plantear los aspectos más conceptuales, de los cuales se han hecho uso, para llevar a cabo el procedimiento experimental así como para la obtención de conclusiones.

Seguido de la introducción encontramos el punto de Métodos actuales, en cual se habla de la metodología de la cual hacen uso hoy por hoy las empresas afectadas por la problemática del nitrógeno amoniacal.

Ya en el punto 5 se habla de la metodología experimental, donde explícitamente se habla del procedimiento que se ha realizado para llevar a cabo el experimento y así obtener resultados y conclusiones.

Previo a las conclusiones tenemos los resultados, donde encontramos los datos obtenidos en el laboratorio, los gráficos realizados a partir de los resultados anteriormente mencionados así como observaciones tanto de los datos como de los gráficos.

Posterior a las conclusiones tenemos la estimación de los costes del proyecto así como la bibliografía utilizada para

Ya para acabar encontramos los anexos que contiene normas analíticas, legislación y un breve artículo de un urinario bastante curioso y ecológico.

2. Antecedentes

2.1. Problemática general: la polución de las aguas

La polución de las aguas es provocada, por las diversas materias procedentes de los efluentes domésticos, y por los efluentes industriales.

El vertido en aguas, de productos diversos, puede transmitir propiedades tóxicas a los seres, animales y plantas, que viven en su seno, haciéndolas no aptas para los distintos usos que les da el hombre.

La polución de las aguas puede tener un origen natural o puede ser provocado como consecuencia de la actividad del hombre, al eliminar los desechos que su metabolismo y sus costumbres producen. Una y otra dan lugar a alteraciones físicas, químicas y biológicas del agua.

2.1.1 Origen de los contaminantes en el medio hídrico

Las fuentes de contaminación más importantes son:

- Aguas residuales procedentes de poblaciones. En ellas se incluyen:
 - Aguas negras, también llamadas aguas fecales o sanitarias. Es una combinación de las producidas por los retretes y las procedentes de usos domésticos.
 - Aguas pluviales: esta agua arrastra sustancias presentes en la atmósfera, polvo, iones, etc. Esto es más notable en zonas industriales y grandes aglomeraciones urbanas.
- Aguas de limpieza pública: generalmente en pequeño volumen. Su grado de contaminación depende de las condiciones locales.
- Aguas procedentes de usos domésticos: se suelen denominar aguas grises, y se definen como las aguas procedentes de los usos domésticos antes de mezclarse con las aguas fecales. Proceden del lavado de ropa, limpieza, desperdicios de cocina. También incluyen las procedentes de edificios comerciales, fábricas situadas en las ciudades...

- Aguas utilizadas para la eliminación de excrementos. Su origen son los retretes y urinarios.
- Aguas residuales procedentes de las industrias. Son muy difíciles de clasificar debido a su variabilidad de composición y características.
- Residuos sólidos procedentes de tierra o de los buques que se vierten directamente al mar.
- Contaminantes líquidos y sólidos arrastrados por los ríos.
- Deposición de contaminantes vertidos a la atmósfera.
- Petróleo procedente de: plataformas de operación y extracción, operaciones de limpieza y deslastre de tanques y accidentes marítimos.

2.1.2 Contaminación física

Las alteraciones físicas más importantes que sufren las aguas como consecuencia de la polución son:

- **COLOR**→ El agua pura es incolora, pero las sustancias naturales presentes en ella le proporcionan ciertas tonalidades. La coloración de un agua natural no polucionada se debe fundamentalmente a la presencia de sustancias orgánicas y compuestos de hierro. El agua polucionada puede contener una gran variedad de compuestos colorantes orgánicos, minerales o ambos. Los desechos industriales dan a las aguas, algunas veces, colores característicos, pero generalmente es difícil relacionar directamente color y polución.
- **OLOR Y SABOR**→ Desde el punto de vista fisiológico estos sentidos están íntimamente relacionados, ya que cuando se quiere gustar algo hay que olerlo, lo que no ocurre en sentido contrario. Por esta razón se prefieren las determinaciones de olor que las de sabor. El olor presente en las aguas puede deberse a la existencia de compuestos químicos como fenoles y cloros, o a materias orgánicas en descomposición o a ciertos organismos.
- **TEMPERATURA**→ La polución térmica se define como excesivos cambios en la temperatura del agua debido a la actividad del hombre. Las consecuencias de esta alteración son la modificación de los equilibrios

ecológicos, de las reacciones bioquímicas y de las características físico químicas del agua.

- **pH**→ El pH puede modificarse tanto por medios naturales como artificiales. En las aguas naturales la variación del pH ejerce una gran influencia sobre las distintas reacciones que se llevan a cabo en el agua; modifica la facilidad de precipitación de algunas especies químicas, etc.
- **CONDUCTIVIDAD**→ El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma.

2.1.3 Contaminación química

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución del oxígeno disuelto como consecuencia de su consumo para los procesos de degradación de los contaminantes. En el caso de la contaminación por compuestos inorgánicos el resultado más importante depende de su efecto tóxico, aunque también existen compuestos inorgánicos que ejercen una gran demanda de oxígeno.

Los contaminantes químicos pueden clasificarse en:

Contaminantes comunes:

- **OXÍGENO DISUELTO (OD)**→ La presencia de oxígeno disuelto es fundamental para mantener la vida acuática y la calidad de las aguas. La carencia de oxígeno se presenta como consecuencia de la contaminación. La concentración de OD indica, entre otros, el estado de septización, potencialidad para producir malos olores, calidad de las aguas, y estimación de la actividad fotosintética.

- **DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)**→ Es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y suele determinarse a los 5 días (DBO5). Es el resultado de la degradación de tres tipos de materiales:
 - Materiales orgánicos carbónicos (microorganismos aerobios heterótrofos)
 - Nitrógeno oxidable (Nitrosomas y Nitrobácter)
 - Compuestos químicos reductores (se oxidan con el OD)
- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**→ Es una medida de la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable. En algunos casos se puede relacionar con la DBO5 por lo que se gana tiempo en la determinación.
- **NUTRIENTES**→ Estos elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero en cantidades excesivas provocan la EUTROFIZACIÓN, crecimiento desmesurado de las algas verdes cianofíceas y se impide la oxigenación del agua:
 - Nitrógeno total y amoniacal: en aguas contaminadas pueden existir nitratos y nitritos procedentes de la oxidación del amoníaco y de fertilizantes.
 - Fósforo: no está presente de forma natural en las aguas, en las aguas residuales procede de los excrementos y de los detergentes.

Contaminantes especiales:

Incluyen los siguientes:

- **ACEITES Y GRASAS**→ Están presentes en aguas domésticas e industriales, pueden ser orgánicos o derivados del petróleo. Generalmente se extienden sobre la superficie de las aguas, creando películas que afectan a la vida biológica de las aguas
- **DETERGENTES**→ Generalmente contienen agentes tensoactivos (formadores de espuma); agentes coadyuvantes que ablandan el agua y cargas, sustancias que ajustan la sustancia activa a las dosis utilizadas.

- **SULFUROS**→ Se encuentran en las aguas negras, aguas de industria química, papelera y refinerías de petróleo. La concentración de sulfuros da una idea del grado de septización.
- **CIANUROS**→ Contaminación de origen industrial, enormemente tóxica.
- **FLUORUROS**→ Se encuentran en vertidos de la industria del aluminio y de abonos fosfatados.
- **FENOLES**→ Se encuentran en los efluentes industriales de las refinerías, industria siderúrgica, farmacéutica, etc. Los derivados clorados de los fenoles confieren al agua características organolépticas no deseables.
- **PESTICIDAS**→ Los pesticidas más utilizados son poco biodegradables y, además de su elevada toxicidad, presentan problemas de bioacumulación.
- **HIDROCARBUROS**→ Son compuestos químicos orgánicos, presentes en grandes cantidades en el petróleo y gas natural. La contaminación que puede originar un crudo de petróleo cuando se derrama en el mar depende de sus características, que pueden variar mucho en función del tipo de petróleo.

Metales pesados:

La presencia de metales en aguas es motivo de preocupación, principalmente por sus efectos tóxicos y su bioacumulación en la cadena trófica. Algunos metales son esenciales para la vida (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Cu y Zn). El hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre y el cobalto de la vitamina B-12, siendo también un activador de enzimas, como el manganeso. El cobre y el cinc participan en la síntesis de enzimas. El molibdeno participa en los procesos de transferencia de electrones.

El resto de los metales pesados: mercurio, cadmio, níquel, cromo, etc. son metales no esenciales, y tienen efectos tóxicos sobre el organismo. Incluso los metales esenciales, cuando sobrepasan las concentraciones requeridas por el organismo, pueden tener efectos tóxicos.

2.1.4 Contaminantes biológicos

Existen grandes cantidades de organismos, que contaminan las aguas. Generalmente no se investigan organismos patógenos sino bacterias indicadoras, que señalizan la existencia en el agua de contaminación de origen fecal. Estas bacterias son:

- Coliformes: presentes en el tracto intestinal (*Escherichia Coli*).
- *Estreptococos fecales*. *Lactobacilos* sulfito-reductores

2.2. Problemática específica de las empresas

Muchas empresas coinciden en un mismo problema, y este es el aumento de la concentración de nitrógeno amoniacal, y por tanto nitrógeno total en sus vertidos. El nitrógeno total está limitado por la legislación, para todas las empresas, ya sea fruto de sus aguas residuales sanitarias como de sus aguas residuales industriales.

Las aguas de vertido industrial, que son tratadas previamente a su vertido, en función de los procesos que se realicen en la empresa o la utilización que esta haga de sus aguas, éstas se tratarán mediante procesos físicos, químicos, fisicoquímicos o biológicos. Cuando se produce la unión de aguas de origen residual industrial con aguas de vertido residual sanitarias, se observa que los niveles de vertido de nitrógeno amoniacal son bastante elevados, es decir, por encima de los límites permitidos por la normativa. Se sabe que el aumento de la concentración del nitrógeno amoniacal tiene su origen en las aguas residuales sanitarias que se vierten. Ya que este tipo de aguas no tiene tratamiento específico previo, pues son simplemente aguas “fecales”, y se consideran en cierto modo inocuas y sin necesidad de tratamiento específico previo. Por consiguiente, el problema básico, que tienen estas empresas, es el de encontrar un tratamiento sencillo, efectivo y asequible para que sus vertidos entren dentro de la normativa vigente.

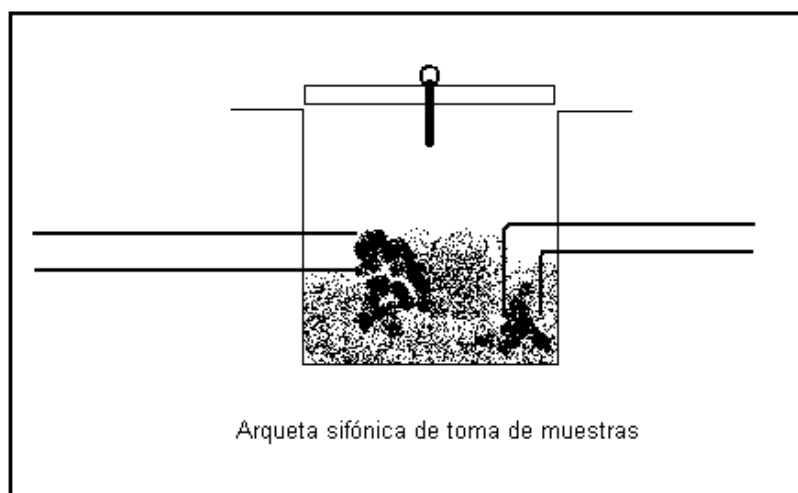
Otro problema a añadir, es el que tiene que ver con la canalización y separación de las aguas residuales. Las aguas residuales sanitarias van canalizadas por una parte y las aguas residuales industriales por otra, pero ambas aguas se unen antes de llegar a

la arqueta de toma de muestras. Hay que tener en cuenta, que anteriormente a la arqueta de toma de muestras, también se unen las aguas pluviales al resto de aguas residuales. Entonces, es complicado saber donde es exactamente la zona en la cual hay la proliferación y el aumento del nitrógeno amoniacal, y por tanto el aumento del nitrógeno total en las aguas residuales. Por tanto, se ha considerado que el problema reside en las aguas residuales sanitarias, puesto que son, junto a las aguas de pluviales, las que llegan a la arqueta de toma de muestras sin ningún tratamiento previo. Es por ello, que si consideramos que el problema del aumento de nitrógeno amoniacal esta en las aguas residuales sanitarias hemos de analizar en que condiciones están esas aguas en las empresas.

Por este motivo, centraremos el problema principal en las aguas residuales sanitarias. Las canalizaciones hasta la arqueta de toma de muestras son de una longitud de entre 50 a 70 metros con una inclinación adecuada para que no sea necesaria la utilización de ningún tipo de bomba que impulse las aguas a la arqueta. Se deduce que la proliferación del nitrógeno amoniacal se produzca probablemente en la arqueta de toma de muestras.

Las muestras en las empresas se extraen de unas arquetas previas al colector, en estas arquetas se dan una serie de circunstancias, que pueden ser determinantes para la formación de nitrógeno amoniacal a partir de la urea. Algunas de las condiciones que se dan en las arquetas, de donde son recogidas las muestras son:

- Velocidad de flujo media (posibles zonas de estanqueidad en la parte baja de la arqueta).
- Agitación permanente en la parte superior de la arqueta sinfónica.
- Oscuridad (ausencia de luz natural directa).
- Probabilidad de anaerobiosis.
- pH alcalinos (entre 7.0 y 9.0).
- Presencia de microorganismos producto de las aguas fecales.



Todos estos factores son los que se han tenido en cuenta a la hora de buscar un tratamiento para la eliminación del nitrógeno amoniacal.

2.3 Tàndem

La empresa Tàndem S.L.¹ desde 1995 ofrece servicios de Consultoría e Ingeniería, tanto para el sector industrial como para el sector de servicios, necesarios para la prevención y corrección de los vectores medioambientales, garantizando la calidad ambiental y reduciendo el riesgo de infringir las normas vigentes.

Está formada por un equipo de técnico-consultores multidisciplinario, ágil y preparado para dar respuesta a todas las necesidades de las empresa en proyectos de medioambiente, seguridad industrial y calidad.

La empresa Tàndem S.L., después de realizar varias consultorías ambientales a diversas empresas, ha denotado un problema común. Dicho problema trata sobre los valores de Nitrógeno total que se ha obtenido en los vertidos, de los efluentes residuales. Estos valores, del parámetro de Nitrógeno total, se han incrementado con

¹ Tàndem Solución Ambientals, S.L.

el consiguiente incumplimiento de la normativa². Por lo que se pretende averiguar el origen del problema para erradicarlo si más no disminuirlo.

Las empresas con las que trabaja Tàndem S.L., en su red de saneamiento interno de la empresa no separan los efluentes residuales de las aguas pluviales. Por ello cuando llueve se realiza una “limpieza de la red de saneamiento” lo que impide que se acumule materia orgánica y se degrade en la misma red de saneamiento.

Sergi Carreras i Coma, Ingeniero Técnico en Química Industrial, y Consultor Medioambiental, se puso en contacto con nuestro ponente Francesc Estrany i Coda, quien nos comentó directamente la problemática y la tarea de investigación que se podía llevar a cabo.

El problema, que básicamente se nos planteaba, era que el parámetro de Nitrógeno total de las aguas residuales de las empresas excedía de los límites de la normativa vigente. El origen del aumento de este parámetro se debía principalmente a las aguas residuales sanitarias, puesto que son éstas las que no tienen ningún tipo de tratamiento antes de llegar a la arqueta de toma de muestras. Y son también este tipo de aguas las que, potencialmente, pueden producir un exceso de nitrógeno total.

El nitrógeno total no está regulado, aunque se puede tomar como referencia el nitrógeno amoniacal³, que tiene su límite en 60mg/L.

En las aguas residuales sanitarias el principal elemento que podría favorecer la aparición del Nitrógeno total o amoniacal en aguas es la Urea.

² Normativa de vertidos a colectores municipales, basándose en el “ Reglament metropolità d’abocaments d’aigües residuals”, publicado en fecha 9/03/00 en el BOPB n°59

³ Según la Normativa de vertidos a colectores municipales, basándose en el “ Reglament metropolità d’abocaments d’aigües residuals”, publicado en fecha 9/03/00 en el BOPB n°59

2.4 Legislación vigente en Catalunya sobre el vertido de Aguas Residuales

La Generalitat de Catalunya preocupada por la progresiva degradación de la calidad de los Ríos comienza a plantear soluciones para la protección del medio ambiente hídrico catalán mediante la Ley 5/1981 de 4 de junio sobre el desarrollo legislativo en materia de evacuación y tratamiento de aguas residuales. Esta Ley se complementa con el Decreto 305/1982 que la desarrolla parcialmente.

Por otra parte aparece la nueva Ley de Aguas 29/1985 de 2 de agosto, a nivel de todo el Estado Español, lo que califica el agua como un recurso escaso y también como un recurso unitario. Bajo esta perspectiva se declaran públicas todas las aguas (con regulación específica para las aguas minerales y naturales) abarcando las aguas subterráneas y superficiales, así como la necesidad de preservar su calidad sobre la base imprescindible de una planificación hidrológica y el reconocimiento por el recurso, de una sola calificación jurídica como bien público estatal. Igualmente se establece que todas las actividades susceptibles de provocar la contaminación o degradación de dominio público hidráulico, y en particular el vertido de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales, requieren de la autorización administrativa.

A esta Ley le sigue el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el “Reglamento Dominio Público Hidráulico (R.D.P.H.)”, completado por el Real Decreto 927/1988, del 29 de Julio.

A partir de la publicación de las dos Leyes nombradas y también con el cumplimiento de las normativas de la Comunidad Económica Europea, fueron apareciendo sucesivamente normativas específicas basadas en ellas.

En Catalunya una serie de Decretos generaron administrativamente la gestión de las aguas de manera que en el Real Decreto 2646/1985 de 27 de Diciembre se establecen los traspasos de la Administración del Estado a la Generalitat de Catalunya, en

materia de obras hidráulicas, estableciéndose mediante el decreto 14/1986 de 30 de Enero, el funcionamiento provisional de la Administración Hidráulica de Catalunya.

La Ley 17/1987 de 13 de Julio, reguló la Administración Hidráulica en Catalunya i el Noviembre del mismo año, Decretos y Ordenes reestructuraron la D.G. de Obras Hidráulicas, Junta de Aguas y Junta de Saneamiento en el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, así como sus posteriores reorganizaciones, dependen de la Junta de Saneamiento del Departamento de Medio Ambiente.

La Ley 5/1990 de 9 de Marzo de Infraestructuras Hidráulicas de Catalunya establece un canon para este concepto, refundiéndose por Decreto 320/1990, de 21 de Diciembre con el Título 2 del Decreto Legislativo 1/1988 que fusionaba las Leyes 5/1988 y 17/1987.

Posteriormente la Generalitat de Catalunya creó para la Ley 4/1991, de 22 de Marzo, el Departamento de Medio Ambiente, asignándole competencias y funciones por Decreto 67/1991 de 8 de Abril.

El artículo 5.1 K) de la Ley 19/1991 del 7 de Noviembre provee las competencias de la Junta de Saneamiento del Departamento de Medio Ambiente sobre la regulación de vertidos de aguas residuales en el ámbito de las cuencas hidrográficas competencia de la Generalitat de Catalunya.

El 28 de Julio se publica en el estado la Ley de Costes, en materia de vertidos directos e indirectos de la tierra al mar, en que los artículos 56 y 57 indican la necesidad de autorización administrativa de todos los vertidos, cualquiera que sea el bien de dominio público marítimo-terrestre en que se realicen.

Es muy importante en el ámbito de la industria el Decreto 286/1992 de 24 de Noviembre, de modificación del procedimiento de determinación del incremento de tarifa de saneamiento y canon de saneamiento por medida directa de carga contaminante. En este decreto se establece la obligatoriedad por parte del usuario industrial del agua de declarar su contaminación ante la Junta de Saneamiento mediante la “Declaración de Carga Contaminante Vertida” (D.C.C.A.), y pagar el

tributo en función de la contaminación vertida en Materia en suspensión (MES), Materias oxidables ($MO = 2/3 \text{ DQOd}$), Sales solubles (SOL) y Toxicidad-Materias Inhibidoras (MI).

En la fecha 11 de Marzo de 1996 entró en vigor el Decreto 83/1996 del 5 de Marzo, regularizando los Programas de Descontaminación Gradual (P.D.G.) como complemento del Real Decreto 484/1995 de 7 de Abril en el resto del Estado Español, en el que regula las normas sobre regulación de vertidos de aguas residuales en la vía pública y el mar, con la finalidad de conseguir en un ritmo adecuado el condicionamiento de los vertidos a las previsiones de las Leyes de Aguas y de Costes, atendidas las necesidades que, al efecto, presenta el procedimiento previsto en los artículos 246 y siguientes del R.D.P.H.

El 27/02/98 se aprobó la Ley núm. 3/98 de Intervención Integral de la Administración Ambiental que cambiará substancialmente en los próximos años algunas de las actuaciones de las diferentes administraciones, en materia medioambiental (aire, agua, residuos y ruido), según la Directiva 96/61/CE.

El 29 de Junio del 99 se aprobó el decreto 170/99 del 18 de Mayo que regula el Reglamento que desarrolla conjuntamente con el Decreto 13979 la citada Ley y del Reglamento provisional regulador de las entidades ambientales de control.

La Ley 25/98 del 31/12/98 se crea la Agencia Catalana del Agua (A.C.A.), unificando la Junta de Saneamiento y la Junta de Aguas, como única Administración Hidráulica de Catalunya, dependiendo del Departamento de Medio Ambiente.

El 12 de Julio de aprobó la Ley 6/99 de Ordenación, gestión y tributación del Agua en Catalunya, y posteriormente el Decreto 103/2000, del 6 de Marzo, aprobó el Reglamento de tributos gestionados por el A.C.A.

El Decreto 103/2000 modifica la antigua autodeclaración D.C.C.A. y crea la Declaración del Uso y la Contaminación del Agua (D.U.C.A.) haciendo nuevos impresos “B1 (1,2), B2 (1,2), B3 (1,2), B4, B5 y B6” de la antigua autodeclaración de vertidos, haciendola obligatoria anual, teniendola que presentar el último trimestre

de cada año, todas las industrias que consumen más de 6000 m³/año. Además unifica el Canon de Infraestructura hidráulica y el canon de Saneamiento, creando un canon del agua para el uso y contaminación y de cualquier utilización del agua, según la Ley 6/99 del 12 de Julio, de ordenación y tributación del agua en Catalunya.

2.4.1 Vertido a la Red Pública: “Reglamento Dominio Público Hidráulico”

La Ley de Aguas 29/85 establece que todas las actividades susceptibles de provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico que requiere la autorización administrativa. En Catalunya la Administración competente es la Agencia Catalana del Agua (A.C.A.).

Para los vertidos directos e indirectos a la red pública (Río, riera, torrente, canal, etc.) o indirectos (alcantarillado público o privado que desemboque después de la vía pública, vertidos de subsuelo, sobre terreno, etc.), se han de ajustar en general a las condiciones y límites fijados en el R.D.P.H. aprobado por el Real Decreto 84/1996 de 11 de Abril. En ningún caso, sin previa autorización, se pueden superar nunca los límites indicados en la Tabla 1 del R.D.P.H..

El Real Decreto 995/2000 del 2 de Junio modifica parcialmente el R.D.P.H. fijando y limitando sus objetivos de calidad y vertidos.

Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

La Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, en su disposición final primera autoriza al Gobierno y al Ministro de Medio Ambiente, en el ámbito de sus respectivas competencias, para dictar las normas reglamentarias que requieran su desarrollo y aplicación.

Por su parte, la disposición final segunda habilita al Gobierno para dictar un real decreto legislativo en el que se refunda y adapte la normativa legal existente en materia de aguas.

Al mandato anterior obedece la aprobación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Una vez aprobado el texto que refunde la legislación vigente en materia de aguas, procede aprobar el desarrollo reglamentario previsto en el texto legal.

Sin embargo, este desarrollo no tiene un carácter uniforme debido a que algunos de los aspectos objeto de reforma en la Ley 46/1999 se verán afectados por la necesaria transposición de la Directiva 2000/60/CE, en la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas de aguas. La complejidad técnica de algunas cuestiones y la necesidad de abordar una reforma en profundidad de la norma reglamentaria, en aspectos tales como la simplificación de los distintos procedimientos administrativos, sin duda uno de los principales retos de las modernas Administraciones al que no puede ser ajena la Administración hidráulica, y la necesidad de recoger los nuevos conceptos, metodologías y criterios derivados de desarrollos tecnológicos, aconsejan aprobar, de momento, una norma limitada a los aspectos más necesitados de desarrollo reglamentario, al tiempo que se establecen algunas precisiones o se corrigen aspectos concretos de gran trascendencia en la gestión del recurso, aplazando a un futuro próximo la revisión completa de las normas de desarrollo en materia de aguas. Con ello se cerrará el proceso de modernización y adaptación de la legislación española reguladora de las aguas continentales.

Atendiendo a los criterios expuestos, son objeto de regulación en este real decreto las siguientes materias:

a) En el Título II, "De la utilización del dominio público hidráulico", capítulo III, las secciones 1ª, 6ª, 8ª, 11ª y 12ª, relativas a la modificación de las características de las concesiones, concesión de aguas en general, especialidades en la tramitación de ciertas concesiones, acuíferos sobre explotados y registro de aguas, respectivamente.

En el capítulo IV se añade un nuevo párrafo al apartado 8 y un apartado 9 en el artículo 201.

b) En el Título III, "De la protección del dominio público hidráulico y de la calidad de las aguas continentales", dentro del capítulo I, sección 1ª, se añade un nuevo apartado al artículo 234, y se da una nueva redacción a la sección 2ª del capítulo I, dedicada al apeo y deslinde de los bienes de dominio público hidráulico, y al capítulo II, relativo a los vertidos.

c) En el Título IV, "Régimen económico financiero de la utilización del dominio público hidráulico", se redacta por entero el capítulo II, dedicado al canon de control de vertidos.

d) En el Título V, "Infracciones y sanciones", se modifican dos aspectos puntuales del régimen de infracciones y sanciones: el relativo a la valoración de los daños causados al dominio público hidráulico y el que afecta a la forma de pago de las sanciones.

e) Se crea un Título VI dedicado al contrato de cesión de derechos al uso privativo de las aguas.

Este real decreto contiene, además, diversas disposiciones:

- Las adicionales hacen referencia, respectivamente, a las referencias que el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, hace a la Ley de Aguas, que se entenderán hechas al artículo correspondiente del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, conforme al anexo correspondiente; las funciones que ejercen los Organismos de cuenca de acuerdo con este real decreto en las cuencas intercomunitarias corresponderán a las Administraciones hidráulicas de las comunidades autónomas que ejerzan competencias en virtud de sus Estatutos, en las cuencas intracomunitarias, a las sustancias peligrosas y a las normas de calidad ambiental.
- Las disposiciones transitorias se refieren a los acuíferos que cuentan con declaración provisional de sobreexplotación o de riesgo de estarlo, sobre los cuales en un plazo de dos años se aprobará un plan de ordenación; a las autorizaciones de vertido otorgadas conforme a la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, y sus normas de desarrollo, que serán revisadas para su adecuación a la normativa en vigor en un plazo de dos años; a las empresas

colaboradoras que hayan obtenido el título de idoneidad y estén inscritas en el registro especial, que deberán acomodarse a lo dispuesto en este real decreto, quedando suprimido aquel registro.

- Por otro lado, se derogan cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo dispuesto en este real decreto. Expresamente se deroga el Real Decreto 1327/1995, de 28 de julio, sobre instalaciones de desalación de agua marina o salobre, cuyas disposiciones se oponen a la regulación contenida en el artículo 13 del texto refundido de la Ley de Aguas, en el que se ha recogido la actividad de desalación incorporada expresamente como actividad libre en la legislación de aguas mediante la Ley 46/1999, de 13 de diciembre.
- En las disposiciones finales se autoriza al Ministro de Medio Ambiente a dictar cuantas disposiciones resulten necesarias para su aplicación y desarrollo, y se señala cuándo entrará en vigor.

Por último, consta el reglamento de cuatro anexos, en los que se contienen, respectivamente, la asignación de votos en las comunidades de usuarios, los contaminantes, las relaciones I y II de sustancias contaminantes y el cálculo del coeficiente de mayoración o minoración del canon de control de vertidos.

2.4.2 Vertidos al alcantarillado público

Los vertidos al alcantarillado con un sistema de saneamiento público se han de ajustar al Reglamento o Ordenanza vigente de la Entidad Local correspondiente, responsable de la gestión del sistema de Saneamiento o Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas (E.D.A.R.U.) receptor del vertido industrial. De esta manera esta Entidad Local viene a ser un organismo regulador de los vertidos al alcantarillado dentro de su territorio en cuanto a limitaciones, utilización de la red, instalaciones de pretratamiento, medidas, inspecciones y sanciones.

La A.C.A. ha aprobado, editado y ampliado el “Reglamento guía del uso y los vertidos de aguas residuales al alcantarillado” como texto de partida para crear su propio reglamento, ya que inicialmente pretendía conseguir que a finales del año 1998 (el año 2005 es la fecha máxima fijada por la Unión Europea), el saneamiento y

la depuración de las aguas residuales de todas las poblaciones de más de 2000 habitantes equivalentes al interior y de 10000 h.e. al Litoral. Este Reglamento se aplicará por defecto en el caso de que una depuradora municipal o comarcal no disponga de Ordenanza o Reglamento propio. Estos límites indicados están incluidos en el Borrador del Decreto citado, dando por fin un marco jurídico a los parámetros máximos permitidos incluidos en el “Reglamento guía del uso y los vertidos de aguas Residuales al alcantarillado”.

Existen muchas ordenanzas de vertido, por su ámbito de aplicación y la problemática de las zonas más afectadas industrialmente en Catalunya, se pueden destacar las siguientes:

- *Reglamento Regulador de vertidos de aguas residuales del Consorci per la Defensa de la Conca del Riu Besòs.*
- *Reglamento Metropolitano regulador de vertidos de aguas residuales.*
- *Reglamento guía del uso y los vertidos de aguas residuales al alcantarillado*
- *“Reglament regulador d’abocaments d’aigües residuals a la Comarca del Maresme”*
- *“Reglament regulador d’abocaments d’aigües residuals de la Comarca d’Osona”*

2.4.3 Arqueta de Toma de Muestras

Las principales Leyes, Reglamentos, Ordenanzas y Decretos que regulen la obligatoriedad y existencia de una arqueta de toma de muestras son las siguientes:

Ley 19/1991 Reforma Junta de Saneamiento: (Punto 2 Disposiciones adicionales).

“Todo establecimiento industrial con vertido de agua residual a la red de alcantarillado he de tener una arqueta de registro que permita en todo momento la inspección del vertido por parte de la Administración”.

Reglamento guía del uso y los vertidos de aguas residuales al alcantarillado. Artículo 30 del Capítulo I del Título V:

“Cada industria pondrá un pozo de registro de fácil acceso que tendrá que contener un sobresaliente aforado, del tipo Parshall, Venturi, Triangular o similar”. “Si los volúmenes de agua consumida y los volúmenes de agua vertida fuesen aproximadamente los mismos, la medición de la lectura de caudal de agua del contador podrá ser utilizada como enrasamiento del caudal residual”.

Reglamento Regulador de vertidos de aguas del Consorcio por la defensa de la Cuenca del Río Besòs. Artículo 9 del Capítulo I:

9.2. “Todo establecimiento industrial con vertido de aguas residuales dispondrá de una arqueta de registro de acceso al alcantarillado de desagüe”

“La arqueta se instalará siempre que sea posible en el exterior del establecimiento y en el límite de la misma finca, con tal de facilitar el seguimiento de sus vertidos de aguas residuales por parte de los Servicios Técnicos del Consorcio o del Ayuntamiento correspondiente”.

“Las dimensiones no serán inferiores a 1,00 x 1,00 m., y se utilizará preferentemente el modelo tipo que proponga el Consorcio, aunque a criterio de sus Servicios Técnicos podrán aceptarse otras configuraciones si las circunstancias lo justifican”.

9.3. *“Para la determinación de los caudales vertidos se seguirán las normas internacionales ISO 1438 y ISO 4359, que describen los métodos para las medidas de caudal de agua en canal abierto utilizando vertederos de pared delgada y canales de venturi, o en su defecto métodos de precisión similar”.*

9.4. *“El registro tendrá que ser accesible en todo momento a los Servicios Técnicos Competentes, para la obtención de muestras”.*

Decreto 289/1992. Procedimiento para la medida directa de la carga contaminante.

“Arqueta de registro”. Los titulares de establecimientos industriales estarán obligados a construir una arqueta de registro en el tramo de conducción fuera del recinto industrial que permita en todo momento la inspección del vertido por parte de la Administración, a efecto de realizar operaciones de toma de muestras y la instalación de aparatos automáticos de muestreo.

En caso de imposibilidad de cumplimiento de esta norma, la Administración, a instancia del sujeto pasivo, definirá la alternativa para garantizar la inspección y la toma de muestras.

Reglamento Metropolitano regulador de vertidos de aguas residuales”. Artículo 17. Capítulo V. Medidas.

“*Pozo de registro*”. Cada Industria pondrá en cada albañal de descarga de sus vertidos residuales, un pozo de muestras de fácil acceso, libre de cualquier interferencia y localizable Río abajo, antes de la descarga y a ser posible fuera de la propiedad; deberá remitir a la Administración paneles de situación de los pozos y aparatos complementarios por su identificación y censo.

2.4.4 Limitación de vertidos

El Consejo de Ministros, el 25 de Julio de 2003, adoptó un acuerdo por el que se aprueba el Programa nacional de reducción progresiva de de emisiones nacionales de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH₃). Tras este acuerdo se publico la Resolución del 11 de Septiembre de 2003, de la Secretaria General de Medio Ambiente.

LISTADO DE VERTIDOS LIMITADOS SEGÚN EL REGLAMENTO REGULADOR DE VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES DEL CONSORCIO PARA DE DENSE DEL ACUENCA DEL RÍO BESÒS⁴

Lista de Parámetros Limitados: Usuarios Industriales		
Parámetro	Límite	Unidades
Temperatura	40	°C
PH	6-11	Uds
MES	750	mg/L
DBO ₅	750	mgO ₂ /L
DQO no decantada	1500	mgO ₂ /L
Conductividad	5000	S/cm
Sales Solubles	7500	S/cm
Materias Inhibidoras	50	Equitox./m ³
Cianuros libres (en CN ⁻)	2	mg/L
Cianuros (en CN ⁻)	5	mg/L
Cloruros (en Cl ⁻)	2000	mg/L
Fluoruros (en F ⁻)	10	mg/L
Sulfuros Libres (en S ₂ ⁻)	1	mg/L
Sulfuros (en SO ₄ ²⁻)	1000	mg/L
Sulfitos (en SO ₃ ²⁻)	20	mg/L
Nitratos (en NO ₃ ²⁻)	100	mg/L
Amoníaco (en NH ₃)	50	mg/L
Fósforo Total (en P)	50	mg/L
Materias Extraíbles	150	mg/L
Fenoles Totales (C ₆ H ₅ OH)	2	mg/L
Tensoactivos Aniónicos (en LAS)	5	mg/L
Pesticidas	0.1	mg/L
Aluminio (Al)	20	mg/L
Arsénico (As)	1	mg/L
Bario (Ba)	20	mg/L
Boro (B)	5	mg/L
Cadmio (Cd)	0.5	mg/L
Cobre (Cu)	3	mg/L
Cromo Hexavalente (Cr)	0.5	mg/L
Cromo Total (Cr)	5	mg/L
Estaño (Sn)	10	mg/L
Hierro (Fe)	20	mg/L
Manganeso (Mn)	5	mg/L
Mercurio (Hg)	0.1	mg/L
Níquel (Ni)	5	mg/L
Plomo (Pb)	1	mg/L
Selenio (Se)	0.5	mg/L
Titanio (Ti)	5	mg/L
Zinc (Zn)	10	mg/L

⁴ Besòs (BOPB N° 56 DEL 6.03.91): Usuarios Industriales. Vertidos Industriales Cuenca del Río Besòs. F1-A3 v00, Fecha de actualización: 17.04.01

LISTADO DE VERTIDOS LIMITADOS SEGÚN EL REGLAMENTO METROPOLITANO DE AGUAS RESIDUALES⁵

Lista de Parámetros Limitados: Usuarios Industriales		
Parámetro	Límite	Unidades
Temperatura	40	°C
PH	5-11	Uds
MES	750	mg/L
DBO	NL	mgO ₂ /L
DQO no decantada	1500	mgO ₂ /L
Conductividad	6000	S/cm
Sales Solubles	9000	S/cm
Materias Inhividoras	50	Equitox./m ³
Cianuros libres	2	mg/L
Cianuros Totales	10	mg/L
Cloruros	2500	mg/L
Fluoruros	15	mg/L
Sulfuros Libres	0.5	mg/L
Sulfuros Totales	5	mg/L
Sulfatos	1500	mg/L
Nitratos	100	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	60	mg/L
Fósforo Total	50	mg/L
Materias Extraíbles	250	mg/L
Índice de Fenoles	5	mg/L
Tensoactivos aniónicos	10	mg/L
Aluminio	30	mg/L
Arsénico	2	mg/L
Antimonio	1	mg/L
Bario	20	mg/L
Boro	4	mg/L
Cadmio	1	mg/L
Cobre	5	mg/L
Cromo Hexavalente	1	mg/L
Cromo Total	10	mg/L
Estaño	10	mg/L
Hierro	20	mg/L
Manganeso	5	mg/L
Mercurio	0.2	mg/L
Molibdeno	1	mg/L
Níquel	10	mg/L
Plomo	2	mg/L
Selenio	1	mg/L
Titanio	10	mg/L
Zinc	10	mg/L
Cd+Cr+Cu+Ni+Zn+B	15	mg/L
TOC	450	mg/Cl
AOX	2	mg/L
Organoclorados	2	mg/L

⁵ Lista de Parámetros Limitados: Usuarios Industriales. Vertidos Limitados. EMESA F2-A3 v00, fecha de actualización 17.04.01

LISTADO DE VERTIDOS LIMITADOS SEGÚN EL REGLAMENTO GUÍA DEL USO Y LOS VERTIDOS DE AGUAS AL ALCANTARILLADO⁶

Lista de Parámetros Limitados: Usuarios Industriales		
Parámetro	Límite	Unidades
Temperatura	40	°C
pH	6-11	Uds
MES	500	mg/L
DBO ₅	500	mgO ₂ /L
DQO	1500	mgO ₂ /L
Aceites y grasas	150	mg/L
Conductividad a 20°C	6000	μS/cm
Cianuros	1	mg/L
Cloruros	2000	mg/L
Dióxido de Azufre	15	mg/L
Índice de Fenoles	2	mg/L
Fluoruros	12	mg/L
Sulfatos	1000	mg/L
Sulfuros Totales	1	mg/L
Sulfuros Disueltos	0.3	mg/L
Aluminio	20	mg/L
Arsénico	1	mg/L
Bario	10	mg/L
Boro	3	mg/L
Cadmio	0.5	mg/L
Cobre	3	mg/L
Cromo Hexavalente	0.5	mg/L
Cromo Total	3	mg/L
Estaño	5	mg/L
Fósforo Total	50	mg/L
Nitratos	50	mg/L
Amonio	50	mg/L
Nitrógeno Orgánico y Amoniacal ⁷	70	mg/L
Hierro	5	mg/L
Manganeso	2	mg/L
Mercurio	0.1	mg/L
Níquel	5	mg/L
Plomo	1	mg/L
Selenio	0.5	mg/L
Materias Inhibidoras (MI)	25	Equitos./m ³
Zinc	10	mg/L
Color (disolución 1/30)	Inapreciable	
Tensoactivos Aniónicos ⁸	6	mg/L
Pesticidas Totales	0.1	mg/L

⁶ Título II, Capítulo 2, Artículo 5 del Reglamento del uso y el vertido de aguas residuales al alcantarillado; aprobado por el Consell de Direcció de l'Agència Catalana de L'aigua del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya al Juny de 1999.

⁷ Nitrógeno amoniacal + orgánico determinado de acuerdo con el método Kjeldalh

⁸ Sustancias activas con el azul de metileno expresadas como laurel sulfato sódico (LSS)

LÍMITES DE VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES⁹

Parámetro – Unidad	Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
pH.....	5.5 – 9.5	5.5 – 9.5	5.5 – 9.5
Sólidos en suspensión (mg/L).....	300	150	80
Materias Sedimentables (mL/L).....	2	1	0.5
Sólidos Gruesos.....	Ausentes	Ausentes	Ausentes
DBO ₅ (mg/L).....	300	60	40
DQO (mg/L).....	500	200	160
Temperatura (°C).....	3°	3°	3°
Color (Inapreciable en disolución)..	1/40	1/30	1/20
Aluminio (mg/L).....	2	1	1
Arsénico (mg/L).....	1.0	0.5	0.5
Bario (mg/L).....	20	20	20
Boro (mg/L).....	10	5	2
Cadmio (mg/L).....	0.5	0.2	0.1
Cromo III (mg/L).....	4	3	2
Cromo IV (mg/L).....	0.5	0.2	0.2
Hierro (mg/L).....	10	3	2
Manganeso (mg/L).....	10	3	2
Níquel (mg/L).....	10	3	2
Mercurio (mg/L).....	0.1	0.05	0.05
Plomo (mg/L).....	0.5	0.2	0.2
Selenio (mg/L).....	0.1	0.03	0.03
Estaño (mg/L).....	10	10	10
Cobre (mg/L).....	10	0.5	0.2
Cinc (mg/L).....	20	10	3
Tóxicos metálicos	3	3	3
Cianuros (mg/L).....	1	0.5	0.5
Cloruros (mg/L).....	2000	2000	2000
Sulfuros (mg/L).....	2	1	1
Sulfitos (mg/L).....	2	1	1
Sulfatos (mg/L).....	2000	2000	2000
Fluoruros (mg/L).....	12	8	6
Fósforo Total (mg/L).....	20	20	10
Ídem.....	0.5	0.5	0.5
Amoníaco (mg/L).....	50	50	15
Nitrógeno Nítrico (mg/L).....	20	12	10
Aceites y Grasas (mg/L).....	40	25	20
Fenoles (mg/L).....	1	0.5	0.5
Aldehídos (mg/L).....	2	1	1
Detergentes (mg/L).....	6	3	2
Pesticidas (mg/L).....	0.05	0.05	0.05

⁹ Tabla 1, 2 y 3 de los valores límites descritos en el “Reglamento Dominio Público Hidráulico” del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. R.D. 849-71986 del 11 de Abril (BOE núm. 103)

2.5 Orientación del proyecto

El proyecto está orientado, hacia lo que corresponde un estudio teórico y experimental de la eliminación de nitrógeno amoniacal en las aguas residuales sanitarias, tal y como indica el título del proyecto.

Nos centraremos en el estudio de la reacción de hidrólisis de la urea, puesto que se ha considerado el principal foco de formación de nitrógeno amoniacal y por tanto nitrógeno total en las aguas residuales sanitarias.

2.6 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es disminuir la concentración de nitrógeno amoniacal, que se ve proliferada a partir de la hidrólisis de la urea. Para alcanzar el éxito de este objetivo se requiere de un tratamiento específico que permita alcanzar el nivel exigido por las normativas vigentes, antes de su llegada a la depuradora.

Para llevar a cabo nuestro objetivo principal es necesario obtener un tratamiento para la eliminación del nitrógeno amoniacal en las aguas residuales sanitarias de las empresas, en donde reside la problemática.

Se han realizado dos estudios teóricos y uno experimental. El primer estudio teórico es el que se ha realizado previo al experimental. En este se han tenido en cuenta, hipotéticamente, las posibles causas que favorecen la reacción de hidrólisis de la urea en el recorrido del alcantarillado hasta el colector principal, lugar donde se produce mayor cantidad de nitrógeno amoniacal. También se ha hecho un estudio conceptual intenso de todo aquello que este relacionado con el tema, con el fin de que al iniciar el estudio experimental pudiésemos saber e intuir, en todo momento, lo que estaba ocurriendo.

El segundo estudio teórico se ha iniciado una vez ya hemos realizado el experimento y hemos obtenido resultados. En este estudio se ha tratado de llegar al máximo de conclusiones, ya sea manteniendo o descartando algunas de las hipótesis ya planteadas en el primer estudio teórico. Es evidente que al realizar el experimento se nos han planteado nuevas hipótesis.

Los factores en los que se ha centrado el estudio tanto teórico como experimental, son:

- Factores que favorezcan la hidrólisis de la urea y la consiguiente formación de amoníaco.
- Factores limitantes de la hidrólisis de la urea.

Se ha tenido en cuenta las condiciones en las que se encuentran las aguas residuales de la empresa, como son:

- La ausencia de luz.
- La presencia de microorganismos.
- La estanqueidad.
- La probabilidad de anaerobiosis.
- El pH.
- Las turbulencias.

Se ha realizado un estudio de las condiciones anteriormente mencionadas, y de que manera afectan sobre la hidrólisis de la urea, y cuales resultan limitantes o básicas para que se produzca esta reacción.

Algunos de los estudios que se han realizados son los siguientes:

- Se estudiará el pH y como afectaría una variación de éste en la reacción.
- Estudio de la luminosidad y la oscuridad.
- Estudio de la presencia o no de oxígeno en el ambiente.
- Influencia de la temperatura en la reacción de hidrólisis de la urea.

3. Introducción

3. Introducción

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para todos los organismos vivos, son parte fundamental de las moléculas como proteínas y ácidos nucleicos y nutrientes indispensables en el crecimiento de organismos fotosintéticos.

En la química del agua, los compuestos del nitrógeno y del fósforo representan un papel muy importante puesto que son ellos los verdaderamente responsables del crecimiento de los organismos animales y vegetales en el medio acuático. En condiciones normales estos compuestos provienen fundamentalmente de la degradación de la materia orgánica muerta, pero en condiciones del medio alteradas, los aportes adicionales proceden mayoritariamente de vertidos residuales urbanos y de ciertas instalaciones industriales, así como del uso creciente de fertilizantes y pesticidas en la agricultura.

Por este motivo, los vertidos de compuestos nitrogenados y fosfatados deben reducirse paulatinamente, tanto en industrias como en la agricultura y ganadería. Por ello, en las estaciones depuradoras de aguas residuales se contempla eliminar estos compuestos.

Los compuestos orgánicos de las aguas residuales están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxigeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60 por 100), hidratos de carbono (25-50 por 100), y grasas y aceites (10 por 100). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina y principal producto terminal del metabolismo protídico en el hombre y en los mamíferos. Es excretada en grandes cantidades por la orina. Su excreción es la función principal del riñón, representando por sí sola bastante más de la mitad del residuo sólido de la orina. Usualmente constituye del 80 al 90% del nitrógeno total. Su cuantía es proporcional en todo caso a la ingestión total de proteínas, Con las dietas habituales, la cantidad excretada por un individuo adulto suele ser del orden de 25 g/día. La urea es prácticamente atóxica, y actúa como diurético.

En los seres humanos la orina normal suele ser un líquido transparente o amarillento. Se eliminan entre 1.134 y 1.700 g que representan aproximadamente 1,4 litros, de orina al día. La orina normal contiene un 96% de agua y un 4% de sólidos en solución. Cerca de la mitad de los sólidos son urea, el principal producto de degradación del metabolismo de las proteínas. El resto incluye nitrógeno, cloruros, cetosteroides, fósforo, amonio, creatinina y ácido úrico.

Contiene de 95 a >99% de agua y de <1 a 5% de solutos. Esos son así generalmente distribuidos:

Solutos ¹⁰	g/24h
Urea	25
Amonia	0.8
Ac. Úrico	0.7
Creatinina	1.5
Creatina	0.8
Aminoácidos	0.8
Glicose	<0.05
H ⁺ pH	5-8
Na ⁺	3.0
K ⁺	1.7
HPO ₄ ²⁻	1.2g. P
SO ₄ ²⁻	1.4g. S
Cl ⁻	6.3
Mg ²⁺	0.15
Ca ²⁺	0.2

3.1. Ciclo de la Urea

La urea es el producto principal de la excreción de nitrógeno en los mamíferos terrestres se sintetiza a partir de amonio y aspartato. Ambas sustancias son derivadas principalmente del glutamato, el producto principal de las reacciones de desaminación. Después de las reacciones de desaminación que se producen en los aminoácidos, el amonio se debe excretar. En función de los diferentes organismos, la

¹⁰ Los datos presentados son de una muestra media de volumen de 1200 ml en 24 hs

forma de hacerlo varía, por ejemplo, en los organismos ureotélicos (urea), uricotélicos (ácido úrico) o amoniotélicos (amoníaco).

En la especie humana, el ión amonio es un compuesto muy tóxico que se convierte en el hígado y el riñón en urea, en el llamado ciclo de la urea. Ésta pasa al torrente sanguíneo y es eliminada por el riñón en la orina.

En nuestro organismo, la glutamina, es el aminoácido encargado de almacenar de manera temporal, mantener dentro de los niveles aceptados y transportar el amonio. El proceso es el siguiente, el amonio cuando está en el tejido se une al ácido glutámico y, después de la reacción mediada por la glutamina sintasa, se forma la glutamina que pasa a la corriente circulatoria, desde donde la captura el hígado y la convierte de nuevo en ácido glutámico, separándose el amonio por medio de la acción de la glutaminasa.

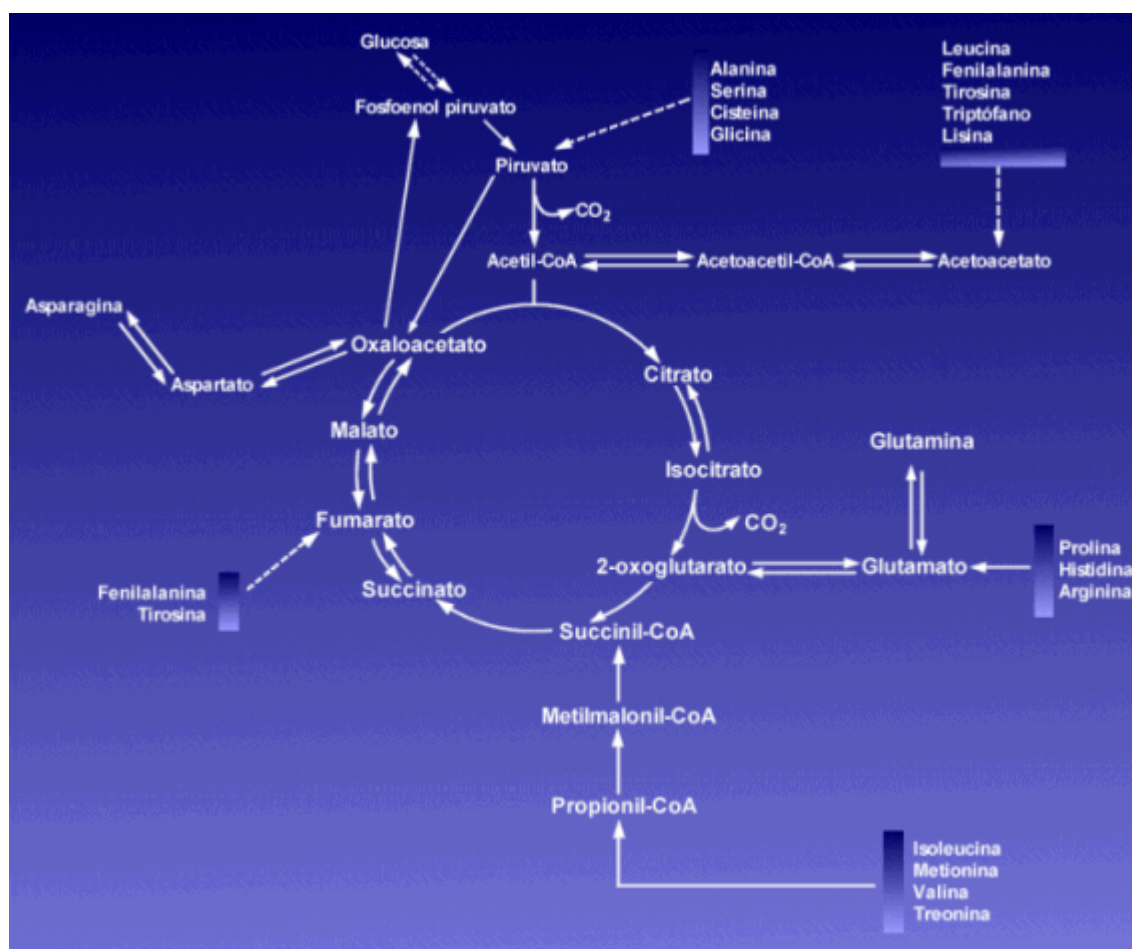


Figura 24: Visión general del destino del esqueleto carbonado de los aminoácidos.¹¹

¹¹ Tomado de "Bioquímica" (E. Herrera)

Dentro del ciclo de la urea hay que distinguir dos zonas en las que actúan las distintas enzimas: citoplasma y mitocondria. Las enzimas que actúan son las siguientes:

- Carbamil fosfato sintetasa: la función de esta enzima ocurre en la mitocondria y consiste en que el amonio se activa por el aporte energético de dos moléculas de ATP y se forma el carbamil fosfato.
- Ornitina transcarbamilasa: el carbamil fosfato se condensa con la ornitina y aparece la citrulina.
- Arginossuccínico sintetasa: el segundo nitrógeno necesario para la formación de la urea lo aporta el ácido aspártico que se condensa con la citrulina, dando lugar al ácido arginossuccínico. Esta reacción ya ocurre en el citoplasma.
- Arginossuccinasa: el ácido formado en la reacción anterior se divide en fumarico y arginina.
- Arginasa: en esta reacción se forma urea después de la hidrólisis de la arginina, se produce de nuevo la ornitina que pasará del citoplasma a la mitocondria, donde comienza de nuevo el ciclo.

El ciclo de la urea de una manera sintética se expresaría de la siguiente forma:



Este ciclo se regula por medio de la carbamil fosfato sintetasa, ya que un aumento en las reacciones de transaminación da lugar a un aumento en su actividad.

Formación de urea:

Se inicia cuando una molécula de ornitina (alfa aminoácido), se combina con una molécula de amoníaco y una de CO₂, para formar citrulina. Entonces, se adiciona un segundo grupo amino a la citrulina formando arginina, que es hidrolizada produciendo urea y regenerando ornitina.

Los animales ureotélicos presentan grandes cantidades de la enzima arginasa en el hígado. Esta enzima cataliza la hidrólisis de la arginina en urea y ornitina. La ornitina generada se prepara para una próxima vuelta del ciclo de la urea. Finalmente la urea pasa a través de la sangre a los riñones y es excretada por la orina.

Producción de urea de amoníaco

El ciclo de la urea comienza en el interior de las mitocondrias de los hepatocitos. El primer grupo amino que ingresa al ciclo proviene del amoníaco intramitocondrial. El amoníaco producido por las mitocondrias, se utiliza junto con el bicarbonato (producto de la respiración celular), para producir carbamoil-fosfato. Reacción dependiente de ATP y catalizada por la carbamoil-fosfato-sintetasa I. Enzima alostérica y modulada (+) por el N-acetilglutamato. El carbamoil-fosfato cede su grupo carbamoilo a la ornitina, para formar citrulina y liberar Pi. Reacción catalizada por la ornitina transcarbamoilasa. La citrulina se libera al citoplasma.

El segundo grupo amino procedente del aspartato (producido en la mitocondria por transaminación y posteriormente exportado) se condensa con la citrulina para formar argininosuccinato. Reacción catalizada por la argininosuccinato sintetasa citoplasmática. Enzima que necesita ATP utilizando como intermediario citrullil-AMP. El argininosuccinato se hidroliza por la arginino succinato liasa, para formar arginina libre y fumarato. El fumarato ingresa al ciclo de Krebs y la arginina libre se hidroliza en el citoplasma, por la arginasa citoplasmática para formar urea y ornitina. La ornitina puede ser transportada a la mitocondria para iniciar otra vuelta del ciclo de la urea.

Ciclo de krebs / ciclo de la urea

El fumarato, producido en la reacción de la argininosuccinato liasa, ingresa a la mitocondria, donde es blanco de la fumarasa y malato deshidrogenasa para formar oxalacetato.

El aspartato que actúa como dador de N en el ciclo de la urea se forma a partir del oxalacetato por transaminación desde el glutamato.

Dado que las reacciones de los dos ciclos están interconectadas se les ha denominado como doble ciclo de Krebs.

Regulación del ciclo de la urea

El flujo del N a través del ciclo de la urea dependerá de la composición de la dieta. Una dieta rica en proteínas aumentará la oxidación de los aminoácidos, produciendo urea por el exceso de grupos aminos, al igual que en una inanición severa.

Características

- Las cinco enzimas se sintetizan a velocidades más elevadas, durante la inanición o en los animales con dieta rica en proteínas.
- La enzima carbamoil-fosfato-sintetasa I es activada alostéricamente por el N - acetilglutamato que se sintetiza a partir del acetil-CoA y el glutamato, por la N-acetilglutamato sintetasa, enzima que es activada por la arginina, aminoácido que se acumula cuando la producción de urea es lenta.

Energía de ciclo de la urea

El ciclo de la urea reúne dos grupos amino y un bicarbonato, para formar una molécula de urea:



La síntesis de la urea requiere 4 Pi de alta energía. 2 ATP para formar el carbamoil - P y un ATP para producir argininosuccinato. En la segunda reacción el ATP se hidroliza a AMP y Pi, AMP que puede ser nuevamente hidrolizado para dar 2 Pi.

Se ha calculado que los animales ureotélicos pierden cerca del 15% de la energía de los aminoácidos de los que se obtiene en la urea. Algunos animales compensan esta pérdida (bovinos) por transferencia de la urea al rumen, donde los microorganismos

la utilizan como fuente de amoníaco para la síntesis de aminoácidos. Este proceso incluso disminuye el consumo de agua.

3.2. Ciclo del Nitrógeno

Presencia de la urea en aguas residuales

No obstante, debido a la velocidad de proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

En el agua residual reciente, el nitrógeno se halla primariamente combinado en forma de materia proteica y urea, aunque su paso a la forma amoniacal se produce de forma casi inmediata. La edad de un agua residual puede medirse en función de la proporción de amoníaco presente.

En medio aerobio, la acción de las bacterias puede oxidar el nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. La preponderancia del nitrógeno en forma de nitratos en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. No obstante, los animales pueden emplear los nitratos para sintetizar proteínas animales. La muerte y descomposición de proteínas vegetales y animales vuelve a generar más amoníaco. Por tanto, si la presencia de nitratos puede ser aprovechada por algas y otras plantas para la síntesis de proteínas, puede ser necesario adoptar medidas para la reducción del nitrógeno presente para prevenir la proliferación de las plantas.

Nitrógeno amoniacal y Nitrógeno total

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. El contenido de nitrógeno orgánico se determina con el método Kjeldahl.

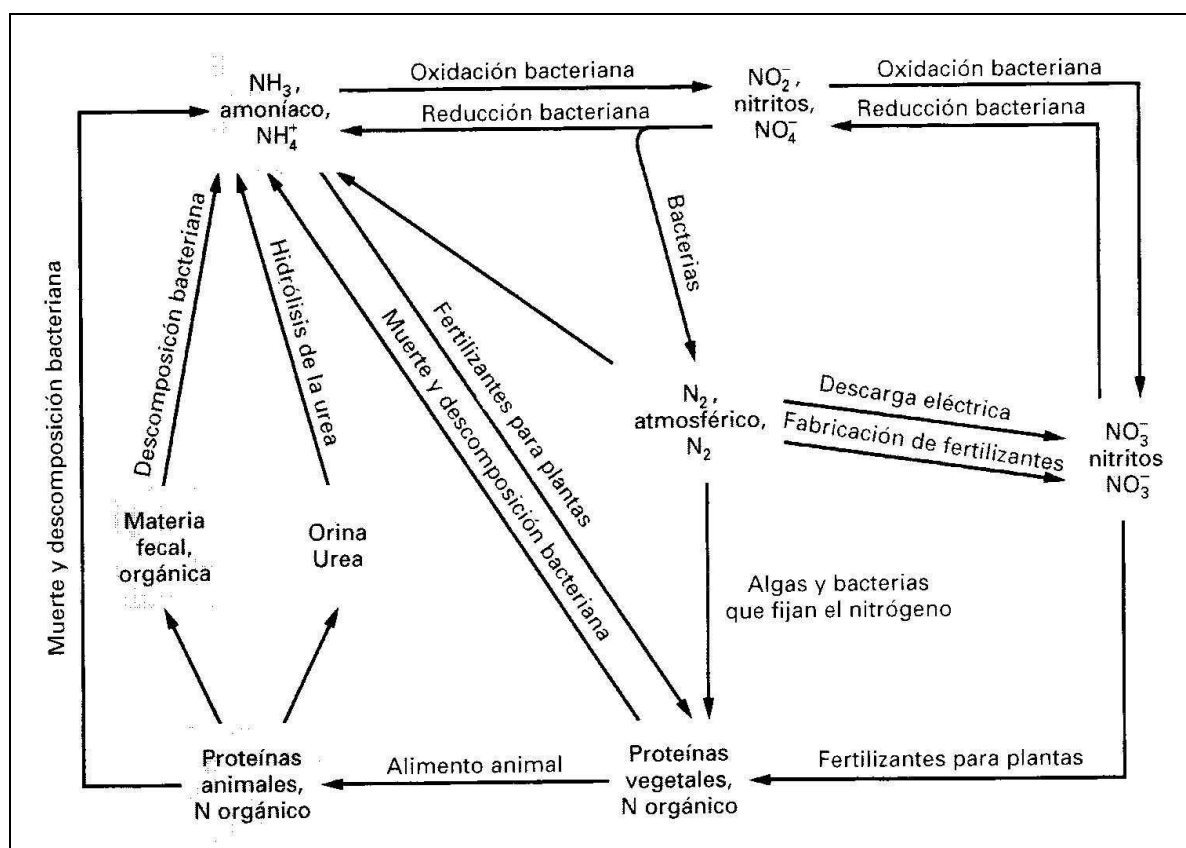
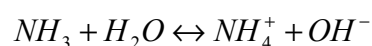


Fig.1. Ciclo del nitrógeno

La descomposición de la urea (hidrólisis de la urea) da como producto el NH_3 y NH_4^+ , es decir el nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal es el nitrógeno combinado en forma de amoníaco (NH_3) o amonio (NH_4^+). El amoníaco y el amonio son gases que se producen de forma natural por fermentaciones microbianas de productor nitrogenados, como es la descomposición de la urea y de algunas proteínas.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ión amonio o como amoníaco, en función del pH de la solución, de acuerdo con la ecuación de equilibrio:



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que el ión amonio es predominante a valores de pH menores que 7.

La rápida hidrólisis de la urea produce una cantidad excesiva de amoníaco, que sobrepasa los requerimientos de los microorganismos para la síntesis proteica, con la consecuente pérdida de nitrógeno y posible peligro de toxicidad.

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que forma parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es el producto natural de descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

En el agua puede aparecer en forma molecular o como ión amonio, dependiendo del pH.

Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco. En general, la presencia de amoníaco libre o ión amonio es considerado como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos.

El origen del nitrógeno amoniacal es variado:

- Aguas residuales industriales (fábricas de gas, hielo, etc.).
- Aguas de lluvia, tras un periodo de sequía, en zonas industriales.
- Aguas residuales agrícolas (excrementos de animales, basuras, fertilizantes).
- En ciertas aguas con hierro que pueden reducir los iones nitrato.
- Descomposición de productos nitrogenados orgánicos en el suelo.
- Putrefacción de plantas.

A parte de la toxicidad el nitrógeno amoniacal en las aguas residuales tiene otros efectos como son:

- Sabor desagradable.
- Dificulta la cloración.
- Altera el cobre de las conducciones por formación de complejos solubles.
- Da colores extraños al agua por formación de complejos.

3.2.1. Eliminación de Nitrógeno (Nitrógeno Amoniacal)

En el agua residual, el nitrógeno puede estar presente en múltiples formas, y son numerosas las transformaciones que puede sufrir a lo largo del tiempo. Las diferentes transformaciones permiten convertir el nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables del agua residual.

La eliminación de nitrógeno se basa en dos procesos combinados de nitrificación y desnitrificación que conllevan una producción de fango en forma de biomasa fácilmente decantable.

En la siguiente tabla se muestran las reacciones que describen los procesos de eliminación del nitrógeno de las aguas residuales urbanas.

REACCIONES DE ELIMINACION DEL NITROGENO	
OXIDACION MATERIA ORGANICA	
$DQO + O_2 \longrightarrow$	$CO_2 + H_2O + \text{Fangos}$
REACCION DE NITRIFICACION	
$NH_4^+ + 1,5 O_2 \longrightarrow$	$NO_2^- + H_2O + 2H^+ + \text{Fangos}$
$NO_2^- + 0,5 O_2 \longrightarrow$	$NO_3^- + \text{Fangos}$
REACCION DE DESNITRIFICACION	
$2NO_3^- + DQO \longrightarrow$	$N_2 + H_2O + 2OH^- + \text{Fangos}$

Fig.2 Reacciones que describen los procesos de eliminación del nitrógeno en aguas residuales

En un efluente de aguas residuales urbanas, el nitrógeno se presenta principalmente como nitrógeno orgánico o amoniacal (20% de la DBO_5) y, en una proporción muy inferior, nitritos y nitratos. En los dos primeros casos, para su eliminación, el nitrógeno reducido se convierte en nitrito (nitrificación) y, posteriormente, en nitrato, todo ello en presencia de oxígeno. Posteriormente, mediante una reacción de

descomposición anaerobia de la materia orgánica (desnitrificación) en la que se toma el oxígeno de los nitratos, se produce nitrógeno gas, que es eliminado y, un fango decantable con alta proporción de materia orgánica oxidada.

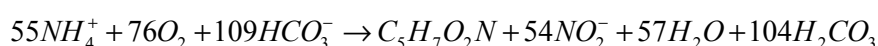
Nitrificación/Desnitrificación

El proceso de nitrificación, en una E.D.A.R., se realiza mediante la acción oxidante de las bacterias Nitrosomas y Nitrobácter, que requieren en su medio la presencia de las siguientes condiciones mínimas para su desarrollo: tiempo mínimo de retención en aireación de 6 horas a caudal medio y pH medio o ligeramente básico.

Por otro lado, la desnitrificación requiere la ausencia de oxígeno, pH ligeramente básico, tiempo mínimo de retención en anaerobiosis y una concentración de carbono orgánico no decantable, que asegure una proporción aproximada 1:3 sobre el nitrógeno a eliminar. Ésta última demanda supone como máximo el 40% de la DBO del efluente, por lo que debe asegurarse su presencia para poder eliminar la cantidad máxima de nitratos.

Reacciones que tienen lugar en la nitrificación:

- Nitrosomas:



- Nitrobácter:

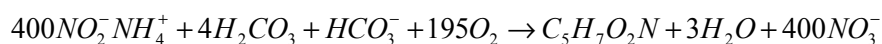


Fig.3 Reacciones de Nitrificación.