



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería Química**

**PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SONDAS DE  
MEDICIÓN DE AMONIO Y NITRATOS EN DOSIM S.L.**



**Memoria y Anexos**

**Autor/a:** Víctor Miralles Gómez  
**Director/a:** Francisco Estrany Coda  
**Co-Director/a:** Aurelio Calvet Tarragona  
**Convocatoria:** Enero 2022



## Resumen

Dentro de la industria química, en el sector dedicado al tratamiento de aguas, se precisa de buenos equipos de medición y dosificación para poder mantener algunos parámetros o compuestos químicos que se encuentran diluidos en esas aguas, dentro de las normativas que tiene cada una de ellas dependiendo de la aplicación que vayan a tener.

Algunos de esos compuestos químicos o parámetros pueden ser: el cloro, el bromo, el oxígeno disuelto, el pH, la turbidez, el potencial redox, el amonio, el nitrato... y precisamente en la detección de estos dos últimos en agua (el amonio y el nitrato) es de lo que trata el presente proyecto.

Ya que un exceso de los niveles de amonio y nitrato pueden ocasionar efectos perjudiciales para la salud humana o para el medio ambiente, gracias a la empresa DOSIM S.L.U, se decidió iniciar este proyecto para conseguir implementar en la empresa sondas de detección y medición de amonio y nitratos en aguas para que, a parte de ofrecer a los clientes sondas para la medición de pH, cloro, bromo, oxígeno disuelto y otros parámetros como ya hacen, también se les pueda ofrecer un producto dedicado a la detección y medición del catión amonio y los nitratos.

Por ello, se ha realizado una tarea de búsqueda de información sobre estos iones, para conocer más sobre ellos y saber los distintos métodos que se utilizan a día de hoy para su detección dentro del sector de tratamiento de aguas.

Una vez conocida dicha información, se ha descartado la idea de fabricar en la propia empresa ese producto y, se ha optado por la opción de implementar el producto deseado mediante un proveedor que le suministrara dicho producto a la empresa.

De esa forma, se ha realizado un estudio de mercado para intentar conseguir el objetivo de implementar ese producto en la empresa y, entrar al mercado como posible competencia respecto a otras empresas del sector.

## Resum

Dins la indústria química, al sector dedicat al tractament d'aigües, calen bons equips de mesurament i dosificació per poder mantenir alguns paràmetres o compostos químics que es troben diluïts en aquestes aigües, dins de les normatives que té cadascuna d'elles depenent de l'aplicació que tingueu.

Alguns d'aquests compostos químics o paràmetres poden ser: el clor, el brom, l'oxigen dissolt, el pH, la terbolesa, el potencial redox, l'amoni, el nitrat... i precisament en la detecció d'aquests dos darrers en aigua (l'amoni i el nitrat) és del que tracta aquest projecte.

Ja que un excés dels nivells d'amoni i nitrat poden ocasionar efectes perjudicials per a la salut humana o per al medi ambient, gràcies a l'empresa DOSIM SLU, es va decidir iniciar aquest projecte per aconseguir implementar a l'empresa sondes de detecció i mesurament d'amoni i nitrats en aigües perquè, a banda d'oferir als clients sondes per al mesurament de pH, clor, brom, oxigen dissolt i altres paràmetres com ja fan, també se'ls pugui oferir un producte dedicat a la detecció i mesurament d'amonis i nitrats.

Per això, s'ha dut a terme una tasca de cerca d'informació sobre aquests ions, per conèixer-ne més i saber els diferents mètodes que s'utilitzen a hores d'ara per a la seva detecció dins del sector de tractament d'aigües.

Un cop coneguda aquesta informació, s'ha descartat la idea de fabricar a la mateixa empresa aquest producte i s'ha optat per l'opció d'implementar el producte desitjat mitjançant un proveïdor que subministrés aquest producte a l'empresa.

D'aquesta manera, s'ha realitzat un estudi de mercat per intentar aconseguir l'objectiu d'implementar aquest producte a l'empresa i entrar al mercat com a possible competència respecte d'altres empreses del sector.

## Abstract

Within the chemical industry, in the sector dedicated to water treatment, good measuring and dosing equipment is needed to be able to maintain some parameters or chemical compounds that are diluted in these waters, within the regulations that each of them has. depending on the application they are going to have.

Some of these chemical compounds or parameters can be: chlorine, bromine, dissolved oxygen, pH, turbidity, redox potential, ammonium, nitrate... and precisely in the detection of these last two in water (ammonium and nitrate) is what this project is about.

Since an excess of ammonium and nitrate levels can cause harmful effects to human health or the environment, thanks to the company DOSIM SLU, it was decided to start this project to implement ammonium detection and measurement probes in the company and nitrates in water so that, apart from offering customers probes for the measurement of pH, chlorine, bromine, dissolved oxygen and other parameters as they already do, they can also be offered a product dedicated to the detection and measurement of ammonia and nitrates.

For this reason, an information search task has been carried out on these ions, to learn more about them and to know the different methods that are used today for their detection within the water treatment sector.

Once this information is known, the idea of manufacturing that product in the company itself has been ruled out and the option of implementing the desired product through a supplier that would supply said product to the company has been chosen.

In this way, a market study has been carried out to try to achieve the objective of implementing this product in the company and enter the market as a possible competition with respect to other companies in the sector.

## Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias en primer lugar, a Juan Manuel Castaño, jefe y dueño de la empresa DOSIM S.L.U, por la oportunidad que me dio en su día para realizar las prácticas curriculares de la universidad en su empresa y por confiar en mi posteriormente, para llevar acabo este proyecto dentro de la empresa.

Por otro lado, quería agradecer a todos los compañeros de la empresa que han hecho posible que día a día fuera adquiriendo más y más conocimiento, ya no sólo de la empresa, sino que también del sector dedicado al tratamiento de aguas y, en especial, al jefe del departamento de servicio técnico, Juven Tendillo, al Product Manager de la empresa, Xavier Ferret y como no, a mi fiel compañero de STV Edgar Castaño que, aunque no estuviera implicado en el proyecto, me ha enseñado como el que más dentro de la empresa.

También quería darle las gracias al profesor Aurelio Calvet y al profesor Francesc Estrany, por aceptar la propuesta de ser mis tutores del TFG y aconsejarme sobre él al inicio del proyecto y por haber seguido mi proyecto y revisarlo.

Y, por último, agradecer a mi familia y amigos por los ánimos y el soporte que he recibido de su parte durante todo este periodo de desarrollo del proyecto y hacer que todo fuera más ameno.



# Índice

Resumen .....	1
Resum .....	2
Abstract .....	3
Agradecimientos .....	4
Índice .....	6
<b>1. Prefacio .....</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del trabajo .....	1
1.2. Motivación .....	2
<b>2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO .....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivos del trabajo .....	3
2.2. Alcance del trabajo .....	3
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
3.1. ¿Qué es el nitrato y el amonio? .....	4
<b>3.1.1. Nitrato.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.2. Amonio .....</b>	<b>7</b>
<b>4. COMO AFECTAN A LOS SERES VIVOS EL NITRATO Y EL AMONIO .....</b>	<b>13</b>
4.1. Nitrato .....	13
<b>4.1.1. ¿Como estamos expuestos al nitrato? .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.2. ¿Como perjudican a la salud los nitratos? .....</b>	<b>16</b>
4.2. Amonio .....	18
<b>4.2.1. ¿Como estamos expuestos al amonio? .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2. ¿Como perjudica a la salud el amonio? .....</b>	<b>19</b>
<b>5. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE NITRATOS Y CACIÓN AMONIO .....</b>	<b>21</b>
5.1. Métodos analíticos.....	21
<b>5.1.1. Método gravimétrico.....</b>	<b>21</b>



5.1.2.	<b>Método volumétrico</b> .....	22
5.1.3.	<b>Método espectroscópico</b> .....	22
5.1.4.	<b>Método cromatográfico y electroforético</b> .....	24
5.1.5.	<b>Método electroquímico</b> .....	27
<b>6.</b>	<b>COMO SE CONTROLAN LOS NIVELES DE NITRATO Y CATION AMONIO EN AGUAS</b> .....	<b>32</b>
6.1.	Métodos para eliminar los nitratos del agua .....	32
6.1.1.	<b>Ósmosis inversa</b> .....	<b>32</b>
6.1.2.	<b>Desnitrificación biológica</b> .....	<b>32</b>
6.2.	Métodos para eliminar el catión amonio del agua .....	34
6.2.1.	<b>Cloración al break-point</b> .....	<b>34</b>
6.2.2.	<b>Nitrificación-desnitrificación (Tratamiento Biológico)</b> .....	<b>34</b>
6.2.3.	<b>Electrooxidación</b> .....	<b>36</b>
<b>7.</b>	<b>PROBLEMÁTICA DENTRO DE LA EMPRESA DOSIM S.L.U</b> .....	<b>38</b>
7.1.	Propuestas de resolución del problema .....	43
7.1.1.	<b>Proveedores</b> .....	<b>43</b>
7.1.2.	<b>Fabricación</b> .....	<b>43</b>
7.2.	Selección de la propuesta final a desarrollar .....	44
<b>8.</b>	<b>ESTUDIO DE MERCADO</b> .....	<b>45</b>
8.1.	Búsqueda de proveedores .....	45
8.2.	Selección del proveedor.....	48
<b>9.</b>	<b>VALORACIÓN FINAL</b> .....	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>53</b>
<b>11.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO</b> .....	<b>54</b>
	<b>Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>57</b>

# 1. Prefacio

## 1.1. Origen del trabajo

Dentro de la industria química, en el sector dedicado al tratamiento de aguas, se precisa de buenos equipos de medición y dosificación para poder mantener algunos parámetros o compuestos químicos que se encuentran diluidos en esas aguas, dentro de las normativas que tiene cada una de ellas dependiendo de la aplicación que vayan a tener.

Algunos de esos compuestos químicos o parámetros pueden ser: el cloro, el bromo, el oxígeno disuelto, el pH, la turbidez, el potencial redox, el amonio, el nitrato... y precisamente en la detección de estos dos últimos en agua (el amonio y el nitrato) consistirá mi trabajo.

Un exceso de los niveles de amonio y nitrato pueden ocasionar efectos perjudiciales para la salud humana.

Por eso, cuando tuve la oportunidad de entrar en el mundo laboral de este sector, y ver que en la empresa donde había entrado, tenían este proyecto pendiente para poner en marcha, lo acepté yo para hacerme responsable y ser partícipe de ello ya que el tema de tratamiento de aguas siempre me llamaba la atención porque lo concibo como un tema importante dentro de la industria química.

El origen de este trabajo se encuentra en la necesidad de encontrar y llegar a implementar métodos eficaces de detección de nitratos y el catión amonio en diferentes tipos de aguas para conseguir mantener los niveles de estos compuestos dentro de las normativas establecidas.

## 1.2. Motivación

La motivación que tengo en este proyecto es poder ayudar a la empresa que me dio la oportunidad de adentrarme en el mundo laboral dentro del sector de la industria química, a encontrar solución a uno de sus proyectos que tienen en mente desarrollar para seguir haciendo que crezca la empresa dentro de su sector. Ese proyecto está enfocado a conseguir la implementación de equipos capaces de detectar el catión amonio y los nitratos disueltos en el agua y cuantificarlos.

Personalmente, el área de estudio de este TFG: el tratamiento de aguas, es un sector que siempre me había parecido interesante dentro del ámbito de la Ingeniería Química, pero que desconocía bastante sobre él, y la oportunidad de poder adentrarme en este sector y poder ayudar a una empresa con un proyecto como este, ha sido el factor diferencial para que realizase este proyecto.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

### 2.1. Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es encontrar un método de análisis eficaz para la detección del catión amonio y los nitratos, capaz de implementar en la empresa DOSIM S.L.

Por lo tanto, los objetivos del Trabajo Final de Grado son:

- Conocer los compuestos químicos que queremos llegar a detectar: amonio y nitrato.
- Estudiar diferentes métodos de análisis para ver cual nos sería más beneficioso a la hora de introducirlo en la empresa DOSIM S.L. teniendo en cuenta las diferentes aplicaciones en las que se utilizaría el método de análisis seleccionado.
- Hacer un estudio de mercado para ver las diferentes técnicas utilizadas para la detección de estos compuestos, por las diferentes empresas dentro del sector.
- Estudiar la posibilidad de adquirir estos productos de otras empresas o fabricar un producto que aporte las soluciones que busca la empresa.
- Testear el producto y ver que es compatible con algunos de los equipos que posee la empresa.
- Introducir el producto dentro de su gama de productos comercializables.

### 2.2. Alcance del trabajo

El trabajo se podría dividir en tres grandes bloques:

En la primera parte, encontraríamos una parte más teórica, dedicada a conocer con cierta profundidad el nitrato y el amonio, ver en qué situaciones llegamos a estar expuestos a estos compuestos, cuanto de perjudiciales llegan a ser para la salud y qué métodos encontramos a día de hoy que nos ayudan a analizar esos compuestos en el agua.

En la segunda parte, encontraríamos un bloque dedicado al estudio de mercado de los diferentes productos que se están comercializando a día de hoy, que cumplan esos requisitos de detección y medición que buscas y quiere introducir la empresa dentro de su catálogo de productos y llegar a seleccionar uno o fabricarlo por su cuenta.

Y, en tercer lugar, se encontraría la parte dedicada a los ensayos de ese producto y a la implementación de ese producto en la empresa, siguiendo los diferentes protocolos a seguir internamente, hasta llegar a comercializarlo.

### 3. INTRODUCCIÓN

A día de hoy, en el sector del tratamiento de aguas, ya sea de agua para consumo, agua de riego, agua residual, agua de piscina etc., se requiere cumplir una serie de normativas establecidas por distintas organizaciones y gobiernos, para llevar un control correcto de los diferentes compuestos químicos que pueden constituir cada tipo de agua, para minimizar lo máximo posible el impacto que puedan llegar a ocasionar estas aguas tanto al medio ambiente como a la salud de los seres vivos.

A causa de esto, existen diferentes sistemas de medición y dosificación que nos permiten mantener controladas esas aguas dentro de la normativa establecida.

DOSIM S.L. es una empresa especializada en el servicio y suministro de sistemas de dosificación y medición aportando una experiencia de más de 25 años. Dispone de una gran gama de productos con las soluciones apropiadas para cada aplicación a la hora de tratar los diferentes tipos de agua y proporcionando propuestas personalizadas.

Aun así, quieren seguir ampliando su gama de productos de medición introduciendo productos que puedan detectar y medir nitratos y el catión amonio. Por ello pusimos en marcha este proyecto para poder llegar a introducir esos productos. Pero para ello, primero es necesario conocer y entender qué son estas especies químicas.

#### 3.1. ¿Qué es el nitrato y el amonio?

##### 3.1.1. Nitrato

El nitrato es un compuesto químico formado por nitrógeno y oxígeno ( $\text{NO}_3^-$ ).

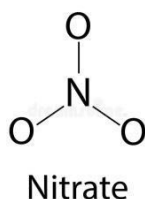


Figura 1. Fórmula del nitrato. (1)

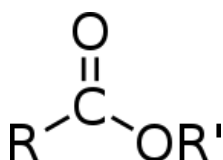
Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico  $\text{HNO}_3$ .

En química, una sal es un compuesto químico formado por cationes (iones con carga positiva) enlazados a aniones (iones con carga negativa) mediante un enlace iónico. Son el producto típico de una reacción química entre una base y un ácido, donde la base proporciona el catión y el ácido el anión.

La combinación química entre un ácido y un hidróxido (base) o un óxido y un hidronio (ácido) origina una sal más líquida, lo que se denomina neutralización.

Un ejemplo es la sal de mesa, denominada en el lenguaje coloquial sal común o sal marina. Es la sal específica cloruro de sodio. Su fórmula molecular es NaCl y es el producto de la base hidróxido sódico (NaOH) y ácido clorhídrico, HCl.

En general, las sales son compuestos iónicos que forman cristales. Son generalmente solubles en agua, donde se separan los dos iones. Las sales típicas tienen un punto de fusión alto, baja dureza, y baja compresibilidad. Fundidas o disueltas en agua, conducen la electricidad. (2)



**Figura 2. Fórmula general de un éster. (3)**

Los ésteres son compuestos orgánicos derivados de petróleo o inorgánicos oxigenados en los cuales uno o más grupos hidroxilos son sustituidos por grupos orgánicos alquilo (simbolizados por R').

Etimológicamente, la palabra "éster" proviene del alemán Essig-Äther (éter de vinagre), como se llamaba antiguamente al acetato de etilo.

En la formación de ésteres, cada radical -OH (grupo hidroxilo) se sustituye por la cadena -COO del ácido graso. El H sobrante del grupo carboxilo, se combina con el OH sustituido, formando agua.

En química orgánica y bioquímica los ésteres son un grupo funcional compuesto de un radical orgánico unido al residuo de cualquier ácido oxigenado (oxácido), orgánico o inorgánico.

Los ésteres más comúnmente encontrados en la naturaleza son las grasas, que son ésteres de glicerina y ácidos grasos (ácido oleico, ácido esteárico, etc.)

Principalmente resultante de la condensación de un ácido carboxílico y un alcohol. El proceso se denomina esterificación. Un éster cíclico es una lactona. (3)



Figura 3. Reacción de esterificación. (3)

El compuesto químico ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) es un líquido viscoso y corrosivo que puede ocasionar graves quemaduras en los seres vivos. Se utiliza como reactivo de laboratorio y para fabricar explosivos como la nitroglicerina y trinitrotolueno (TNT), así como fertilizantes como el nitrato de amonio. Tiene usos adicionales en metalurgia y en refinado, ya que reacciona con la mayoría de los metales y en la síntesis química. Cuando se mezcla con el ácido clorhídrico forma el agua regia, un raro reactivo capaz de disolver el oro y el platino. El ácido nítrico también es un componente de la lluvia ácida.

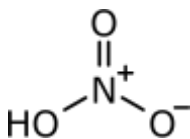


Figura 4. Estructura química del ácido nítrico. (1)

## Propiedades físicas

El ácido nítrico puro es un líquido viscoso, incoloro e inodoro. A menudo, distintas impurezas lo colorean de amarillo-marrón. A temperatura ambiente libera humos amarillos. El ácido nítrico concentrado tiñe la piel humana de amarillo al contacto, debido a la presencia de grupos aromáticos presentes en la queratina de la piel.



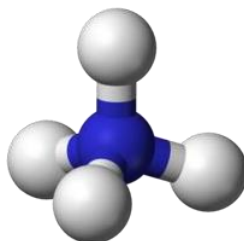
*Figura 5. Recipiente con ácido nítrico.*  
(1)

## Propiedades químicas

El ácido nítrico es un agente oxidante potente; sus reacciones con compuestos como los cianuros, carburos, y polvos metálicos pueden ser explosivos. Las reacciones del ácido nítrico con muchos compuestos orgánicos, como de la trementina, son violentas, la mezcla siendo hipergólica (es decir, autoinflamable). Es un oxácido fuerte: en solución acuosa se disocia completamente en un ion nitrato  $\text{NO}_3^-$  y un protón hídrico. Las sales del ácido nítrico (que contienen el ion nitrato) se llaman nitratos. (1)

### 3.1.2. Amonio

El amonio es un catión poliatómico cargado positivamente, de fórmula química  $\text{NH}_4^+$ . Tiene un peso molecular de 18,04 (unidades) y se forma mediante la protonación del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).



*Figura 6. Estructura del ion amonio en 3D.* (4)



El ion resultante tiene un pKa de 9,25. Los nombres amonio y aminio también son nombres para las aminas sustituidas protonadas o cargadas positivamente, y los cationes amonio cuaternario  $N^+R_4$ , donde uno o más átomos de hidrógeno son reemplazados por grupos alquilo (que pueden ser simbolizados como R).

### Propiedades químicas

El ion amonio tiene un peso molecular de 18,039 g/mol y una solubilidad de 10,2 mg/mL de agua (National Center for Biotechnology Information, 2017). Al disolver amoniaco en agua se forma el ion amonio según la reacción:



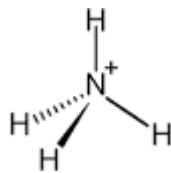
Figura 7. Fórmula de protonación del amoníaco para obtener amonio. (4)

Esto aumenta la concentración de hidroxilo en el medio aumentando el pH de la solución. El amoníaco es una base débil: reacciona con ácidos de Brønsted (donantes de protones) para producir el ion amonio.

Cuando se disuelve amoníaco en agua, una cantidad pequeña de él reacciona con los iones hidronio en el agua para producir iones amonio. El ion amonio resultante es un ácido conjugado comparativamente fuerte, y reacciona con cualquier base, regenerando la molécula de amoníaco neutra. En solución acuosa, el grado en que el amoníaco forma ion amonio depende del pH de la solución y de la concentración de amoniaco.

El par electrónico libre en el nitrógeno (N) en el amoníaco está representado como un par de puntos. Este par de electrones forma el enlace con el catión hidrógeno  $H^+$ .

En el ion amonio, el átomo de nitrógeno forma cuatro enlaces covalentes, en vez de tres como en el amoníaco, formando una estructura que es isoelectrónica a la molécula de metano y, en consecuencia, es energéticamente favorable.



**Figura 8. Estructura del ion amonio. (4)**

La formación de los compuestos de amonio también puede suceder en la fase de vapor; por ejemplo, cuando vapores de amoníaco entran en contacto con vapores de cloruro de hidrógeno, se forma una nube blanca de cloruro de amonio, que eventualmente se deposita como una capa delgada de sólido sobre las superficies. Los cationes amonio se asemejan a los metales alcalinos como el  $\text{Na}^+$  o el  $\text{K}^+$  y puede ser encontrado en sales como el bicarbonato de amonio, cloruro de amonio, y nitrato de amonio. Las sales de amonio más simples son muy solubles en agua.

La reducción del catión amonio libera gas amoníaco e hidrógeno:



**Figura 9. Reducción del catión amonio a amoníaco gas. (4)**

Los radicales de amonio pueden disolverse en mercurio para formar una amalgama. Prácticamente puede llevarse a cabo mediante la electrólisis de una solución de amonio con un electrodo de mercurio. Esta amalgama se descompone espontáneamente para producir amoníaco e hidrógeno. (4)

## 4. COMO AFECTAN A LOS SERES VIVOS EL NITRATO Y EL AMONIO

### 4.1. Nitrato

La ingestión de nitratos no es exclusiva del agua de bebida, ya que este compuesto se puede encontrar en muchos alimentos incluso en el medio ambiente.

Las sales sódicas y potásicas de los nitratos y de los nitritos se utilizan como aditivos conservantes de alimentos, especialmente de determinados productos cárnicos. Algunos estudios realizados en diferentes comunidades indican que la ingesta media de nitratos a través de la dieta (excluida el agua de bebida) es de unos 50 mg/día. (5)

#### 4.1.1. ¿Como estamos expuestos al nitrato?

##### 4.1.1.1. Nitratos en el medio ambiente

Los nitratos están ampliamente difundidos en el medio ambiente. Pueden ser sintetizados a partir del nitrógeno presente en la atmósfera en reacciones iniciadas por descargas eléctricas y existen yacimientos minerales (que son la fuente inorgánica más importante). Tienen además una importante participación en el ciclo biológico del nitrógeno. Son sintetizados por microorganismos (siendo ésta la principal fuente natural de nitratos) y sirven a las plantas superiores como precursores en la síntesis de proteínas, característica por la cual el hombre los utiliza como fertilizantes. Los nitratos absorbidos por las plantas y que no son metabolizados se acumulan en vacuolas de reserva que constituyen la principal fuente de nitratos en alimentos.

Cuando la materia orgánica (vegetal y animal) se degrada libera nitratos al suelo y al agua. Debido a su elevada solubilidad los nitratos presentes en el ambiente independientemente de su fuente (formaciones geológicas, fertilizantes, explotaciones agropecuarias, aguas servidas, etc.) lixivian fácilmente a las napas de agua. Las condiciones redox del suelo y del agua determinan si los nitratos lixiviados son reducidos o quedan como tales. La información disponible sobre los procesos que ocurren durante la lixiviación es insuficiente para calcular con precisión la fracción que llega a las napas en los distintos ambientes. Sin embargo, algunos autores estiman que alrededor del 30 % del nitrato utilizado como fertilizante puede lixiviar al agua. Si bien los nitratos tienen un valor propio como contaminantes ambientales, su elevada solubilidad los convierte en excelentes indicadores de posibles contaminaciones con otros agentes químicos y/o biológicos. A esto hay que sumarle que es relativamente sencillo y poco costoso detectarlos y cuantificarlos tanto en aguas como en suelos.

El hombre los emplea profusamente como fertilizantes, pero también son necesarios para la síntesis de algunos compuestos nitrogenados, la fabricación de explosivos, pirotecnia, fósforos y cementos especiales. La industria alimenticia los emplea como aditivos (conservantes) y en sistemas acuáticos son utilizados para controlar olores y procesos de corrosión. (6)

#### 4.1.1.2. Nitratos en el organismo

La vía más importante de ingreso al organismo es la digestiva. Una fracción variable de los nitratos ingeridos (según los distintos autores entre el 35 y el 65 % en adultos y entre el 80 y el 100 % en niños) es eliminada por orina dentro de las 48 horas.

Alrededor del 25 % del nitrato ingerido es recirculado a saliva y aproximadamente el 20 % de esta fracción es reducida a nitritos por la microflora oral. Hay información que indica que estos nitritos cumplirían una función en la resistencia contra enfermedades infecciosas.

Los nitratos ingeridos pueden pasar a circulación como tales o ser reducidos a nitritos, amonio o urea. Hay evidencia que indica que también se convierten en óxidos de nitrógeno (que actuarían previniendo la formación de nitrosaminas carcinogénicas). A su vez el amonio y la urea pueden ser excretados como tales o utilizados en procesos metabólicos.

Desde el punto de vista de los posibles efectos sobre la salud la reacción más importante es la reducción a nitritos. Esta reducción (mediada por bacterias) ocurre principalmente en la boca y el estómago y -en menor medida- en los intestinos y la vejiga. El grado de reducción depende de la cantidad y tipo de bacterias presentes. En el caso particular de las bacterias gastrointestinales, su crecimiento es dependiente del pH: un pH superior a 5 favorece el crecimiento bacteriano y, en consecuencia, la reducción de nitratos a nitritos.

Estos pH son más probables en adultos con enfermedades gástricas y en bebés.

Pero es importante saber que la ingesta de nitratos no es la única fuente en el organismo. Actualmente se sabe que la cantidad de nitratos excretados por orina es alrededor de 4 veces superior a la ingerida. La información disponible indica que este exceso de nitratos no proviene de reservas sino de una biosíntesis endógena que está estimada en el orden de 60 mg/día. Estudios realizados con animales libres de gérmenes indican que al menos la mitad de esta síntesis proviene del metabolismo mamífero. Los procesos infecciosos e inflamatorios estimulan la síntesis endógena de nitratos. (6)

#### 4.1.1.3. Nitratos en los alimentos y agua de bebida

Como ya se mencionaba, los nitratos presentes en los alimentos pueden provenir de vacuolas de reserva (en vegetales) y de su uso como aditivos - conservantes y fijadores de color- en algunas variedades de quesos, embutidos y carnes elaboradas. La cantidad de nitratos acumulada por las plantas depende de variables tales como el tipo y cantidad de fertilizante utilizado, las prácticas agrícolas (hay información que indica que los vegetales cultivados como productos orgánicos contienen menos nitratos), especie y variedad, momento de la cosecha, intensidad de luz, temperatura, etc.

En la Tabla 1 se indican los rangos de contenido de nitratos para algunos alimentos.

**Tabla 1. Contenido de nitratos de algunos alimentos. (5)**

<100 ppm NO <sup>3-</sup>	100-1000 ppm NO <sup>3</sup>	> 1000 ppm NO <sup>3-</sup>
Espárragos Ajo Hongos Cebolla Arvejas Papas Batatas Tomates Lácteos	Repollos Zanahorias Coliflor Achicoria Pepinos Apio Carnes Quesos Embutidos	Remolacha Brócoli Lechuga Espinaca Perejil Nabo

La ingesta diaria de nitratos depende fuertemente de los hábitos alimenticios de una población y de la calidad del agua de bebida. Los estudios realizados en poblaciones de distintas partes del mundo ubican la ingesta diaria entre 50 y 150 mg por día, pero en los vegetarianos el consumo diario puede llegar a superar los 250-300 mg/día.

La importancia relativa de los nitratos provenientes del agua de bebida depende fuertemente de la concentración en el agua y del tipo de alimentación. En la Tabla II se indican los aportes relativos del nitrato presente en el agua de bebida a distintas concentraciones para poblaciones que consumen alimentos con contenidos de nitratos bajos y medios. Cuando la concentración de nitratos en el agua de bebida es baja, el consumo proviene principalmente de vegetales tales como lechuga, remolachas, apio y espinaca. La situación se revierte cuando el contenido de nitratos en el agua es alto.

**Tabla 2. Contribución del nitrato contenido en el agua de bebida a la ingesta total de nitratos en poblaciones con ingestas promedio provenientes de alimentos de 37 y 75 mg/día. (5)**

Nitratos en agua (ppm)	Ingesta total (mg/día)	
	37	75
0	37	75
35	73	150
50	89	182
70	110	225
85	125	257

#### 4.1.2. ¿Como perjudican a la salud los nitratos?

Desde hace tiempo se ha puesto de manifiesto que el principal efecto perjudicial para la salud derivado de la ingesta de nitratos y nitritos es la metahemoglobinemia, es decir, un incremento de metahemoglobina en la sangre, que es una hemoglobina modificada (oxidada) incapaz de fijar el oxígeno y provoca limitaciones de su transporte en los tejidos. En condiciones normales hay un mecanismo enzimático capaz de restablecer la alteración y reducir la metahemoglobina otra vez a hemoglobina.

Cuando la metahemoglobinemia es elevada, la primera manifestación clínica es la cianosis, generalmente asociada a una tonalidad azulada de la piel. Los nitritos presentes en el organismo, tanto si son ingeridos directamente como si provienen de la reducción de los nitratos, una vez absorbidos y presentes en la sangre son capaces de transformar la hemoglobina en metahemoglobina y pueden causar metahemoglobinemia.

En cuanto a la relación con el cáncer, los experimentos realizados parecen indicar que los nitratos no son directamente carcinogénicos para los animales y estudios más definitivos no han confirmado la relación entre la ingesta de nitratos y el cáncer. (5)

El grupo poblacional que presenta más riesgo son los lactantes alimentados exclusivamente con leche artificial.

Entre el resto de la población, las personas que podrían sufrir efectos adversos son aquellas que presentan alteraciones que provocan un aumento de la formación de nitritos, que tienen una hemoglobina anómala o que sufren carencias en el sistema enzimático encargado de transformar la metahemoglobina en hemoglobina. Entre estas personas hay:

- Las mujeres embarazadas.
- Las personas con hipoclorhidria gástrica natural o provocada por tratamientos antiácidos (úlceras pépticas, gastritis crónica).
- Las personas con déficits hereditarios de metahemoglobina-reductasa o de NADH.
- Las personas con hemoglobina anómala.

La mayoría de la gente no está expuesta a niveles de nitrato y/o nitrito que causen efectos adversos. Los bebés menores de 6 meses parecieron ser especialmente sensibles a los efectos de nitrito sobre la hemoglobina luego de tomar fórmula preparada con agua potable que tenía niveles de nitrito más altos que el límite recomendado, algunos de estos bebés fallecieron. La causa de la metahemoglobinemia (un cambio en la hemoglobina que reduce su capacidad para transportar oxígeno a los tejidos) en muchos de estos bebés puede haber sido gastroenteritis causada por bacterias o virus en el agua potable o de otras fuentes sin relación a nitrato. Algunos niños y adultos que comieron alimentos y tomaron líquidos que contenían niveles de nitrito inusualmente altos sufrieron caída de la presión sanguínea, aumento del pulso, reducción de la capacidad de la sangre para llevar oxígeno a los tejidos, dolores de cabeza, calambres abdominales, vómitos y aun la muerte.

Hay evidencia limitada que sugiere que el nitrito puede producir algunos tipos de cáncer gastrointestinal en los seres humanos y en los ratones. El cáncer puede ser causado por reacciones entre el nitrito y otras sustancias químicas formando compuestos que producen cáncer. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) determinó que hay evidencia inadecuada de carcinogenicidad para el nitrato en los alimentos o el agua potable y evidencia limitada de carcinogenicidad para el nitrito en los alimentos (basado en la asociación con el aumento de cáncer al estómago). La IARC determinó que hay evidencia inadecuada de carcinogenicidad de nitrato, evidencia limitada de carcinogenicidad de nitrito per se, y evidencia suficiente de carcinogenicidad de nitrito en combinación con aminos y amidas.

Las conclusiones globales de la IARC fueron que “la ingestión de nitrato y nitrito bajo condiciones que resultan en nitrosación endógena es probablemente carcinogénica en seres humanos (Grupo 2A).”

La IARC indicó que: (1) el ciclo de nitrógeno endógeno en seres humanos incluye la conversión de nitrato a nitrito; (2) agentes nitrosantes derivados de nitrito producido en el ambiente ácido del estómago pueden reaccionar con compuestos nitrosantes tales como aminas y amidas secundarias para generar compuestos N-nitroso; (3) las condiciones de nitrosación aumentan con la ingestión adicional de nitrato y nitrito o de compuestos que pueden ser nitrosados; y (4) algunos compuestos N-nitroso se sabe son carcinogénicos.

La EPA no ha evaluado la carcinogenicidad del nitrato o el nitrito. (7)

## 4.2. Amonio

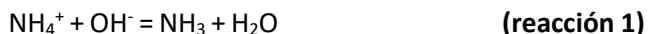
Normalmente el ion amonio lo encontramos en forma de amoniaco o sales de amonio. Es por eso que mencionamos estos compuestos cuando nos queremos referir al ion amonio.

Debido a que el amoníaco ocurre naturalmente en el ambiente, todos estamos expuestos rutinariamente a bajos niveles de amoníaco en el aire, el suelo y el agua.

### 4.2.1. ¿Como estamos expuestos al amonio?

#### 4.2.1.1. Amonio en el agua

En agua, la mayor parte del ion amonio que podemos encontrar proviene del amoníaco que se transforma en la forma iónica del amoníaco (el ion amonio) al disolverse con el agua, produciéndose la siguiente reacción:



Los iones de amonio no son gases ni tienen olor. En pozos, ríos, lagos y suelos húmedos, la forma iónica del amoníaco es la más común. El amoníaco también puede combinarse con otras sustancias para formar compuestos de amonio, como por ejemplo sales como el cloruro de amonio, sulfato de amonio, nitrato de amonio y otras sales. (7)



#### 4.2.1.2. Amonio en el aire

Usted puede estar expuesto en el aire libre a niveles altos de amoníaco gaseoso proveniente de escapes y derrames en facilidades que lo producen o almacenan, y de cañerías, camiones, carros de ferrocarril, barcos y barcasas que lo transportan. Niveles más altos de amoníaco pueden ocurrir cuando se aplican abonos que contienen amoníaco o compuestos de amonio a terrenos agrícolas. Después que el abono ha sido aplicado, la concentración de amoníaco en el suelo puede alcanzar más de 3,000 ppm; sin embargo, estos niveles disminuyen rápidamente en unos días.

En el interior de viviendas, usted puede estar expuesto al amonio cuando usa productos de consumo domésticos que contienen amoníaco, por ejemplo, soluciones para limpiar vidrios y otras superficies, cera para el piso y sales aromáticas.

Los líquidos para limpieza de uso doméstico e industrial pueden contener amonio, y el uso de estos productos en el hogar o el trabajo puede exponerlo al amoníaco. Ambos tipos de soluciones se manufacturan agregando amoníaco gaseoso al agua para formar amoníaco líquido. Los productos de limpieza domésticos contienen típicamente niveles bajos de amoníaco (entre 5 y 10%) comparado con las soluciones industriales, las que generalmente contienen niveles más altos (hasta 25%). (7)

#### 4.2.1.3. Amonio en el suelo

Los agricultores pueden exponerse al amoníaco cuando trabajan con abonos o aplican al terreno abonos que contienen amoníaco. Los agricultores, ganaderos y personas que crían otros tipos de animales de corral pueden estar expuestos al amoníaco proveniente de abono en descomposición. Algunos procesos industriales también usan amoníaco. Algunos refrigeradores antiguos usaban amoníaco como refrigerante. (7)

### 4.2.2. ¿Como perjudica a la salud el amonio?

Los científicos usan una variedad de pruebas para proteger al público de los efectos perjudiciales de sustancias químicas tóxicas y para encontrar maneras para tratar a personas que han sido afectadas.

Una manera para determinar si una sustancia química perjudicará a una persona es averiguar como el cuerpo absorbe, usa y libera la sustancia. En el caso de ciertas sustancias químicas puede ser necesario experimentar en animales. La experimentación en animales puede ayudar a identificar problemas de salud tales como cáncer o defectos de nacimiento. (7)

Sin el uso de animales de laboratorio, los científicos perderían un método importante para tomar decisiones apropiadas para proteger la salud pública.

Los científicos tienen la responsabilidad de tratar a los animales de investigación con cuidado y compasión. Los científicos deben adherirse a estrictos reglamentos para el cuidado de los animales porque actualmente hay leyes que protegen el bienestar de los animales de investigación.

El amoníaco es una sustancia corrosiva y los efectos principales de la exposición al amoníaco ocurren en el sitio de contacto directo (por ejemplo, la piel, los ojos, la boca, y los sistemas respiratorio y digestivo). Por ejemplo, si usted derrama una botella de amoníaco concentrado en el piso, usted detectará el fuerte olor a amoníaco; puede que usted tosa y los ojos le lagrimeen a causa de la irritación. Si usted se expusiera a niveles muy altos de amoníaco, sufriría efectos más graves. Por ejemplo, si usted camina a través de una nube densa de amoníaco o si su piel entra en contacto con amoníaco concentrado, puede sufrir quemaduras graves de la piel, los ojos, la garganta o los pulmones. Estas quemaduras pueden ser suficientemente graves como para producir ceguera permanente, enfermedad de los pulmones o la muerte. Asimismo, si ingiere accidentalmente amoníaco concentrado, puede sufrir quemaduras en la boca, la garganta y el estómago. No hay ninguna evidencia de que el amoníaco produce cáncer. Ni la EPA, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) o la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) han clasificado al amoníaco en cuanto a carcinogenicidad. El amoníaco también posee efectos beneficiosos, por ejemplo, cuando se usa como sal aromática. Algunas sales de amonio se han usado desde hace mucho tiempo en la práctica de la medicina clínica y veterinaria. (7)

## 5. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE NITRATOS Y CATION AMONIO

### 5.1. Métodos analíticos

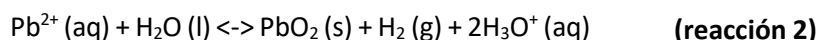
En el sector de la química analítica podemos encontrar un gran abanico de métodos de análisis para la detección y medición de distintos compuestos químicos como, por ejemplo:

#### 5.1.1. Método gravimétrico

La gravimetría abarca todas las técnicas en las que se miden la masa o los cambios de masa. De ello se deduce que existen al menos dos formas de utilizar la masa como señal analítica. Como es lógico, podemos medir directamente la masa de un analito colocándolo en una balanza y registrando su masa.

Por ejemplo, supongamos que vamos a determinar los sólidos totales suspendidos en el agua que mana de una instalación de tratamiento de aguas residuales. Los sólidos suspendidos son sólo eso: la materia sólida depositada a partir de la matriz en que estaba disuelta. El análisis es fácil. Se recoge una muestra y se pasa por un filtro previamente pesado en el que quedan retenidos los sólidos suspendidos. Tras secar y eliminar todos los restos de humedad, se pesa el filtro. La diferencia entre la masa original del filtro y la masa final corresponde a la masa de los sólidos suspendidos. A esto se le llama un análisis directo porque el objeto pesado es el propio analito.

¿Qué sucede cuando el analito es un ion acuoso, por ejemplo,  $Pb^{2+}$ ? En este caso no puede aislarse el analito por filtración, pues el  $Pb^{2+}$  se encuentra disuelto en la matriz de la disolución. Sin embargo, aún será posible medir la masa de analito si lo convertimos químicamente en una forma sólida. Si suspendemos un par de electrodos de Pt en la disolución y creamos entre ellos el potencial positivo suficiente, mantenido durante el tiempo necesario, podemos hacer que la reacción



llegue hasta el final. El ion  $Pb^{2+}$  en disolución se oxida a  $PbO_2$  y se deposita sobre el electrodo de Pt, que actúa como ánodo. Si pesamos el electrodo Pt antes y después de aplicar el potencial, la diferencia entre ambas medidas corresponderá a la masa de  $PbO_2$  y, a partir de la estequiometría de la reacción, podremos deducir la masa de  $Pb^{2+}$ . Éste también es un análisis directo, pues el material pesado contiene el analito. (8)

### 5.1.2. Método volumétrico

Método mediante el cual se mide el volumen de un reactivo que reacciona estequiométricamente con el analito.

Casi todas las reacciones químicas pueden servir como método volumétrico, siempre y cuando se cumplan 3 requisitos.

1. En primer lugar, todas las reacciones en las que intervienen el agente valorante y analito deben tener una estequiometría conocida. En caso contrario, los moles de agente valorante usados para llegar al punto final no podrán indicarnos la cantidad de analito presente en la muestra.
2. En segundo lugar, la reacción de valoración debe ser rápida. Si se añade agente valorante a una velocidad superior a la de la reacción, el punto final excederá el punto de equivalencia en una magnitud significativa.
3. Por último, debe existir un método adecuado para determinar el punto final con un grado de exactitud aceptable.

Estas condiciones imponen unas limitaciones significativas por lo que, en general, se utilizan estrategias de valoración. (8)

### 5.1.3. Método espectroscópico

En la espectroscopia se definen distintas propiedades características de la radiación electromagnética tales como la energía, la velocidad, la amplitud, la frecuencia, el ángulo de fase, la polarización y la dirección de propagación.

La espectroscopia sólo es posible cuando la interacción del fotón con la muestra provoca el cambio de una a varias de estas propiedades características.

Este método se divide en dos grandes clases. En una clase de técnicas, se transfiere energía entre un fotón de radiación electromagnética y el analito (Tabla 3). (8)

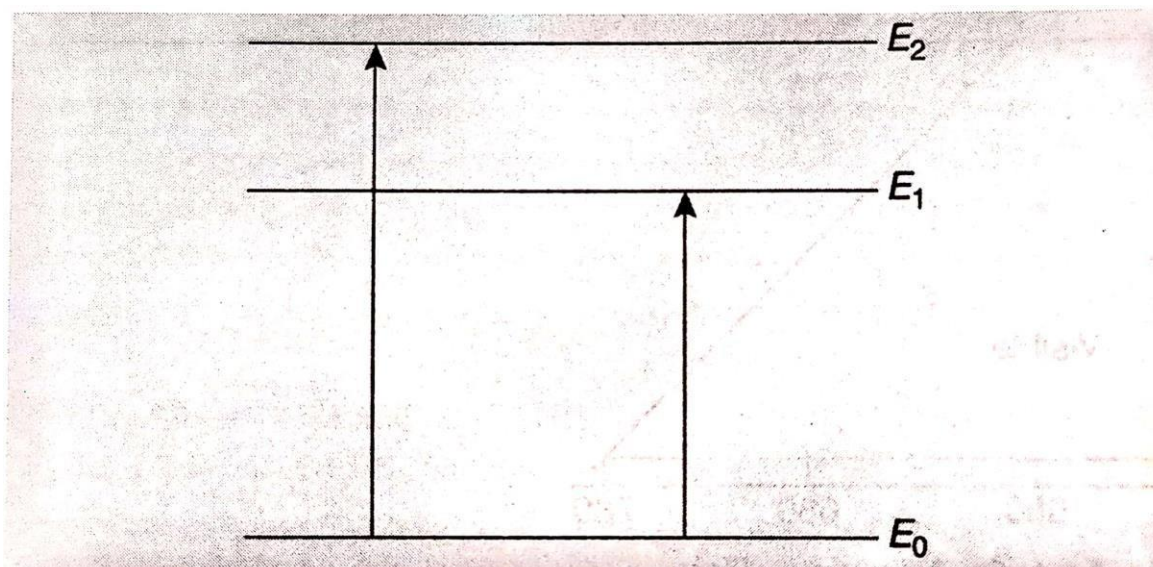
**Tabla 3. Espectroscopias representativas en las que se produce intercambio de energía. (8)**

Tipo de transferencia de energía	Región del espectro electromagnético	Técnica de espectroscopia
Absorción	Rayos $\gamma$	Espectroscopia de Mossbauer
	Rayos X	Espectroscopia de absorción de rayos X
	UV/Vis <sup>a</sup>	Espectroscopia UV/Vis <sup>b</sup>
	Infrarroja	Espectroscopia infrarroja <sup>b</sup>
	Microondas	Espectroscopia de microondas
Emisión (excitación térmica)	Ondas de radio	Espectroscopia de resonancia de espín electrónico
	UV/Vis	Espectroscopia de resonancia magnética nuclear
Fotoluminiscencia	Rayos X	Espectroscopia de emisión atómica <sup>b</sup>
	UV/Vis	Fluorescencia de rayos X
		Espectroscopia de fluorescencia <sup>b</sup>
		Espectroscopia de fosforescencia <sup>b</sup>
		Espectroscopia de fluorescencia atómica

<sup>a</sup>UV/Vis: rango ultravioleta y visible.

<sup>b</sup>Técnicas expuestas en el texto.

En la espectroscopia de absorción, el analito absorbe la energía transportada por un fotón y, de este modo, pasa de un estado de baja energía a un estado excitado o de alta energía (Fig. 10). La fuente del estado energético depende de la energía del fotón.



**Figura 10. Diagrama simplificado del nivel de energía que muestra la absorción de un fotón. (8)**

Por ejemplo, el espectro electromagnético de la Figura 11 muestra que la absorción de un fotón de luz visible hace que un electrón de valencia del analito pase a un nivel mayor de energía.

Por otro lado, si el analito absorbe energía infrarroja, uno de sus enlaces químicos experimentará un cambio en la energía de vibración.

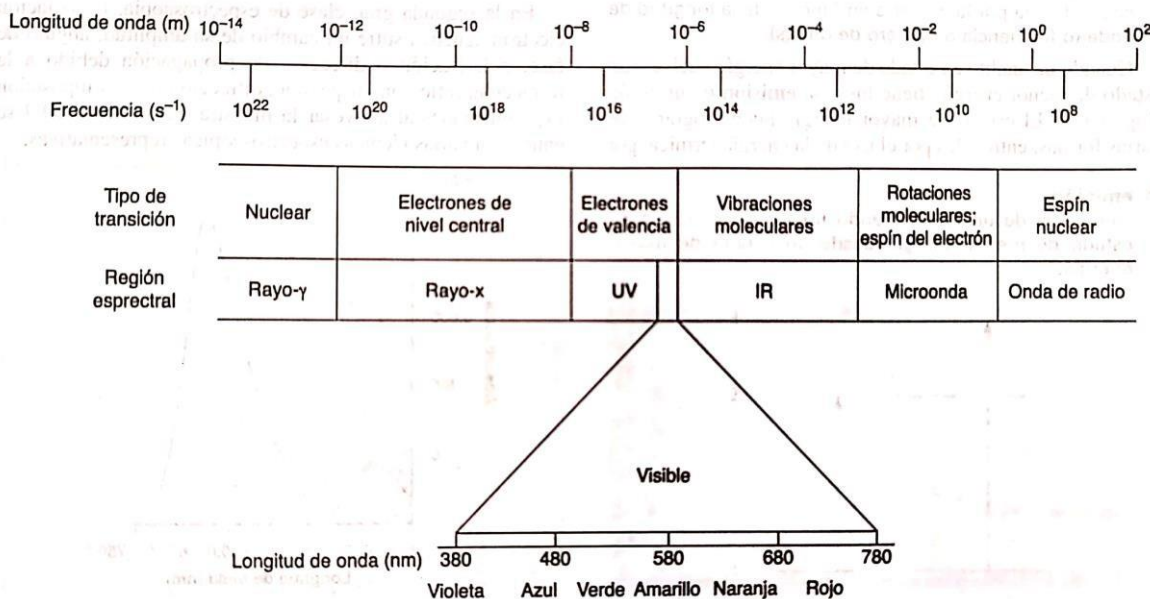


Figura 11. Espectro electromagnético que muestra los colores del espectro visible. (8)

## 5.1.4. Método cromatográfico y electroforético

### 5.1.4.1. Cromatografía

La cromatografía es un método de separación analítica en la que los solutos se distribuyen entre una fase móvil (fase extractante que se desplaza a través del sistema) y fase estacionaria (fase extractante que permanece en una posición fija del sistema).

Las separaciones analíticas se pueden clasificar de tres formas:

- Según el estado físico de la fase móvil y la fase estacionaria
- Según el método de contacto entre las fases móvil y estacionaria
- Según los mecanismos físicos o químicos responsables de la separación de los componentes de la muestra.

Un ejemplo de cromatografía, sería la cromatografía de intercambio iónico. Modo de cromatografía líquida en la que la fase estacionaria es una resina de intercambio iónico.

En la cromatografía de intercambio iónico (CII), la fase estacionaria es una resina polimerizada mediante enlaces cruzados, habitualmente poliestireno con enlaces cruzados de divinilbenceno<sup>1</sup>, unido de forma covalente a grupos funcionales iónicos (Fig. 12). (9)

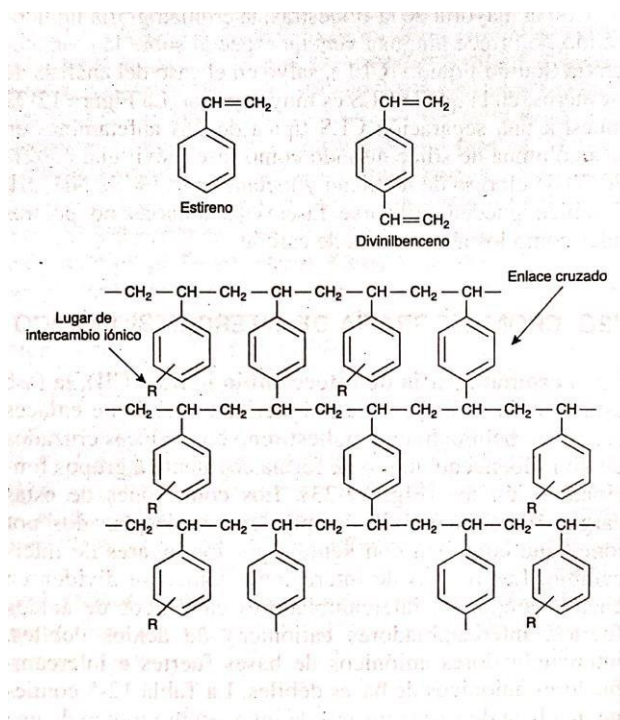


Figura 12. Estructura del estireno, divinilbenceno y un copolímero estireno-divinilbenceno modificado para uso como resina de intercambio iónico. Los lugares de intercambio iónico, indicados por R. (8)

Los contraiones de estas cargas fijas son móviles y pueden ser desplazados por iones que compiten con ventaja por los lugares de intercambio.

<sup>1</sup> El divinilbenceno (DVB) consiste en un anillo de benceno unido a dos grupos de vinilo. Está relacionado con el estireno (vinilbenceno) mediante la adición de un segundo grupo vinilo. Es un líquido incoloro fabricado por deshidrogenación térmica de dietilbencenos isoméricos. En condiciones de síntesis, el *o*-divinilbenceno se convierte en naftaleno y, por tanto, no es un componente de las mezclas habituales de DVB.

Las resinas de intercambio iónico se dividen en cuatro categorías:

- Intercambiadores catiónicos de ácidos fuertes
- Intercambiadores catiónicos de ácidos débiles
- Intercambiadores aniónicos de bases fuertes
- Intercambiadores aniónicos de bases débiles

La Tabla 4 contiene una lista de varias resinas de intercambio iónico de uso habitual.

**Tabla 4. Resinas de intercambio iónico de uso habitual. (8)**

Tipo	Grupo funcional	Ejemplos
ácido fuerte intercambiador de cationes	ácido sulfónico	$-\text{SO}_3^-$ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$
ácido débil intercambiador de cationes	ácido carboxílico	$-\text{COO}^-$ $-\text{CH}_2\text{COO}^-$
base fuerte intercambiador de aniones	amina cuaternaria	$-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3^+$
base débil intercambiador de aniones	amina	$-\text{NH}_3^+$ $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_2^+$

#### 5.1.4.2. Electroforesis

La electroforesis es otro tipo de técnica de separación en la que los analitos se separan según su capacidad para desplazarse a través de un medio de conducción, habitualmente un tampón acuoso, en respuesta a la aplicación de un campo eléctrico.

En ausencia de otros efectos, los cationes migran hacia el cátodo de carga negativa del campo eléctrico, y los aniones lo hacen hacia el ánodo con carga positiva. Los iones con mayor carga y los de menor tamaño, lo que significa que su relación carga/tamaño es mayor, migran a mayor velocidad que los iones de gran tamaño o de carga menor.



Las especies neutras no responden al campo eléctrico y permanecen estacionarias. En condiciones normales, incluso los aniones y las especies neutras migran hacia el cátodo. En todo caso, lo que permite la separación de mezclas complejas de analitos es la velocidad de migración.

Un ejemplo de electroforesis es la electroforesis capilar. Es aquella que tiene lugar en un tubo capilar. En este caso el tampón conductor se mantiene en un tubo capilar que mide 25-75  $\mu\text{m}$  de diámetro interno. Las muestras inyectan por uno de los extremos del tubo capilar. A medida que la muestra migra a lo largo del capilar, sus componentes se separan y eluyen de la columna tras intervalos diferentes. (8)

### 5.1.5. Método electroquímico

El método electroquímico es ese método de analítico en el que la señal analítica corresponde a la medición de un potencial, de una corriente o de una carga en una célula electroquímica.

Las mediciones electroquímicas se llevan a cabo en una célula electroquímica, como bien he mencionado anteriormente, que consiste en dos o más electrodos y los componentes electrónicos asociados que permiten controlar y medir la corriente y el potencial. La célula electroquímica más sencilla está formada por dos electrodos. El potencial de uno de ellos es sensible a la concentración del analito y recibe el nombre de electrodo indicador<sup>1</sup>. El segundo electrodo, al que se denomina contraelectrodo, sirve para completar el circuito eléctrico y proporciona un potencial de referencia contra el que se mide el potencial del electrodo indicador. Lo ideal es que el potencial del contraelectrodo permanezca constante, de forma que cualquier cambio en el potencial global de la célula pueda atribuirse al electrodo indicador.

En un método dinámico, en el que el paso de la corriente provoca un cambio de la concentración de las especies existentes en la célula electroquímica, el potencial del contraelectrodo puede cambiar en función del tiempo. (8)

---

<sup>1</sup> Electrodo cuyo potencial es sensible a la concentración del analito.

Este problema se elimina sustituyendo el contraelectrodo por dos electrodos: un electrodo de referencia<sup>1</sup>, a través del cual no pasa corriente y cuyo potencial permanece constante, y un electrodo auxiliar<sup>2</sup>, que completa el circuito y a cuyo través se permite el paso de la corriente.

La celda electroquímica potenciométrica se construye de tal forma que una de las semiceldas proporciona un potencial de referencia conocido y el potencial de la otra semicelda indica la concentración del analito. Por conveniencia, se acepta que el electrodo de referencia es el ánodo; así, la notación taquigráfica de una celda electroquímica es:

Referencia || Indicador

y su potencial es:

$$E_{\text{cel}} = E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}} + E_{\text{ul}}$$

El electrodo de referencia ideal sería aquel que proporcionara un potencial estable de forma que cualquier cambio de  $E_{\text{cel}}$  pudiera atribuirse al electrodo indicador y, por tanto, a un cambio de la concentración del analito. Además, este electrodo de referencia ideal debería ser fácil de fabricar y de manejar.

A continuación, se explicarán algunos de los métodos electroquímicos más utilizados.

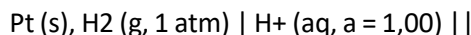
---

<sup>1</sup> Electrodo cuyo potencial permanece constante y frente al que pueden medirse otros potenciales

<sup>2</sup> Tercer electrodo que completa el circuito en una célula de tres electrodos

### 5.1.5.1. Electrodo normal de hidrógeno (ENH).

La notación taquigráfica del electrodo sería:



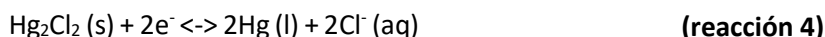
y el potencial estándar para la reacción:



Es, por definición, 0,00 V a todas las temperaturas. Pese a su importancia como el electrodo de referencia fundamental con el que se miden y comparan todos los demás potenciales, el ENH apenas se utiliza, pues es difícil de preparar e incómodo de manejar. (8)

### 5.1.5.2. Electrodo de calomelanos.

Los electrodos de referencia de calomelanos se basan en el par redox formada por:

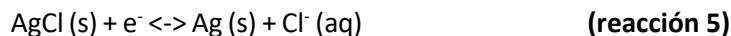


Por tanto, el potencial de un electrodo de calomelanos depende de la concentración de Cl<sup>-</sup>.

En este caso, existe una variante llamada **electrodo de calomelanos saturado (ECS)**, basado en la reducción de Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> a Hg en una disolución acuosa saturada con KCl.

### 5.1.5.3. Electrodo de plata/cloruro de plata

Otro electrodo de referencia muy utilizado es el electrodo de plata/cloruro de plata, que se basa en el par redox entre AgCl y Ag:



Al igual que sucede con el electrodo de calomelanos saturado, el potencial del electrodo Ag/AgCl depende de la concentración de Cl<sup>-</sup> utilizada en su preparación.

En comparación con el ECS, el de Ag/AgCl ofrece la ventaja de que puede usarse a temperaturas más altas.

Por otro lado, tiene mayor tendencia a reacciones con disoluciones para formar complejos insolubles de plata que pueden bloquear el puente salino entre el electrodo y la disolución.

#### 5.1.5.4. Electrodo de membrana

El descubrimiento en 1906 de que una fina membrana de vidrio desarrolla un potencial, llamado potencial de membrana<sup>1</sup>, cuando sus lados opuestos están en contacto con disoluciones con distinto pH, condujo al desarrollo de una clase totalmente nueva de electrodos indicadores llamados electrodos selectivos de iones (ESI)<sup>2</sup>. Tras el descubrimiento del electrodo de pH de vidrio, se han desarrollado electrodos selectivos de iones para una amplia variedad de iones.

También se han producido electrodos de membrana que responden a la concentración de analitos moleculares usando una reacción química para generar iones que puede ser controlado con un electrodo selectivo de ion. El desarrollo de nuevos electrodos de membrana sigue siendo un activo campo de investigación.

La notación taquigráfica de una celda electroquímica potenciométrica equipada con un electrodo selectivo de iones que se muestra en la figura 11-10, sería la siguiente:



donde la membrana está representada por una línea vertical (|) que separa las dos disoluciones que contienen el analito. Se utilizan dos electrodos de referencia; uno colocado en la disolución interna y el otro en la disolución de muestra. Por tanto, el potencial de la celda es:

$$E_{\text{cel}} = E_{\text{Ref(int)}} - E_{\text{Ref(mues)}} + E_{\text{mem}} + E_{\text{ul}}$$

donde  $E_{\text{mem}}$  es el potencial a través de la membrana. Como el potencial de unión líquida y los potenciales del electrodo de referencia son constantes, cualquier cambio del potencial de la celda se atribuirá al potencial de membrana.

---

<sup>1</sup> Potencial que se desarrolla a través de una membrana conductora cuyas caras opuestas están en contacto con disoluciones de composición diferentes.

<sup>2</sup> Electrodo cuyo potencial de membrana es función de la concentración de un ion dado en la disolución.

Si existe diferencia entre las concentraciones de analito a ambos lados de la membrana, la interacción del analito con ésta producirá un potencial de membrana. Uno de los lados de la membrana está en contacto con la disolución interna que contiene una concentración fija de analito, mientras que el otro lado está en contacto con la muestra. La corriente pasa a través de la membrana gracias al movimiento del analito o de un ion que ya se encuentre presente en la matriz de la membrana. (8)

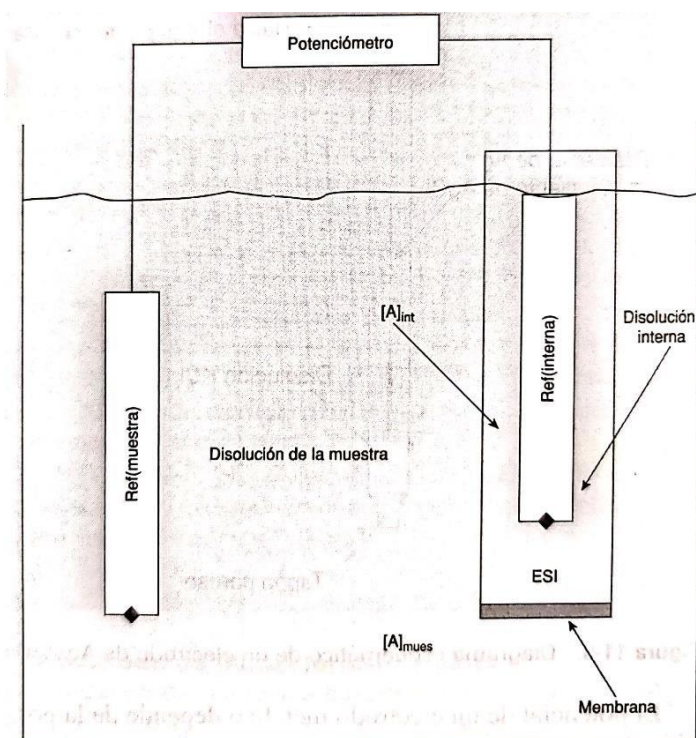


Figura 13. Celda electroquímica para un potenciómetro con un electrodo selectivo de iones de membrana.

(8)

## 6. COMO SE CONTROLAN LOS NIVELES DE NITRATO Y CATION AMONIO EN AGUAS

### 6.1. Métodos para eliminar los nitratos del agua

Por lo general, se emplean dos técnicas aceptables para la eliminación de los nitratos en el agua: la desnitrificación biológica y la ósmosis inversa (RO).

#### 6.1.1. Ósmosis inversa

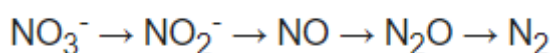
La ósmosis inversa es un tratamiento que no sólo elimina los nitratos en aguas, sino que también nos garantiza alcanzar los valores deseados para considerar el agua tratada como aceptable para su utilización.

Este método consiste en forzar el movimiento del disolvente en sentido inverso, haciendo que atraviese la membrana semipermeable y dejando el nitrato y otras especies iónicas a eliminar al otro lado de la membrana. Los problemas asociados con la implementación de esta técnica están relacionados mayoritariamente con la presión empleada y con los relativos a las membranas (ensuciamiento, compactación y deterioro con el uso), por el contacto de las mismas con materia soluble, materia orgánica bien como partículas coloidales o en suspensión.

Asimismo, también se ven afectadas por las variaciones de pH del agua y por la exposición a cloro. (10)

#### 6.1.2. Desnitrificación biológica

La desnitrificación es un tratamiento que se lleva a cabo en condiciones anóxicas<sup>1</sup>, donde el nitrato es reducido a nitrito y posteriormente a nitrógeno gas. Este proceso se produce a través de varias etapas en serie en las que aparecen como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso.



Es factible el desarrollo de la misma tanto con bacterias heterótrofas como autótrofas. Las bacterias heterótrofas utilizan fundamentalmente como sustrato orgánico metanol, etanol y ácido acético, pero también se han desarrollado métodos en los que el sustrato son gases tales como monóxido de carbono y metano. Cuando se trata de desnitrificación autótrofa, el hidrógeno o compuestos de azufre reducidos sirven como sustrato y el dióxido de carbono o bicarbonato se emplean como aporte de carbono para el crecimiento celular. Los procesos de desnitrificación biológica heterótrofa se han aplicado a escala industrial en mayor medida debido fundamentalmente a la mayor velocidad con que se desarrolla este proceso. Para el caso de la desnitrificación autótrofa se requiere trabajar con mayores tiempos espaciales, lo que conduce a aumentar los volúmenes de reacción, incrementándose considerablemente los costes. (10)

<sup>1</sup> Las condiciones anóxicas ocurren si la tasa de oxidación de la materia orgánica por bacterias es mayor que el suministro de oxígeno disuelto.

Durante la desnitrificación hay una serie de factores que pueden hacer que ésta se vea afectada, como pueden ser: el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, la cantidad de materia orgánica fácilmente disponible y como no, la concentración de nitrato.

Por ello, durante el proceso, se han de utilizar diferentes sensores para poder controlar esos valores. Estos sensores serían:

- Sensores de pH y rédox  
Durante el proceso de nitrificación/desnitrificación se produce un cambio tanto del pH como del rédox. Estos sensores son una medida indirecta de la progresión de los procesos. A continuación, se presentan unas gráficas donde se muestra cómo evolucionan estos parámetros a lo largo del proceso DN (Desnitrificación).
- Sensores de amonio y nitratos  
En los últimos años se han desarrollado medidores de amonio y nitratos on-line basados en la técnica de ion selectivo. Estos medidores obtienen una medida directa de la evolución del proceso de DN y parecen muy prometedores para el control de este proceso.

El proceso descrito es un tratamiento selectivo de reducción de un anión concreto. Si queremos eliminar o reducir varios en un agua de mayor salinidad para su uso destinado al consumo humano, tendríamos que sustituir la desmineralización mediante resinas de intercambio iónico, por el proceso de ósmosis inversa que reduce el contenido general salino del agua, en una concentración superior al 95%, obteniéndose un agua de excelente calidad, libre de sales (nitratos y demás iones como sulfatos, arsénico, cloruros, sodio etc) y compuestos indeseados. También hay desmineralizaciones generalistas por intercambio iónico, que reducen el contenido total salino, más habitualmente utilizadas en la industria. (11)

## 6.2. Métodos para eliminar el catión amonio del agua

Para la eliminación del amonio en aguas, por lo general, se aplican los siguientes métodos: la cloración al break-point y la nitrificación-desnitrificación, aunque se está empezando a utilizar un método llamado “Electrooxidación”.

### 6.2.1. Cloración al break-point

Este método consiste en clorar el agua hasta llegar al break-point (punto de ruptura) de la cloración, donde los niveles de cloro exceden la demanda de oxidante y el agua comienza a acumular un residuo de cloro libre disponible (CL o FAC).

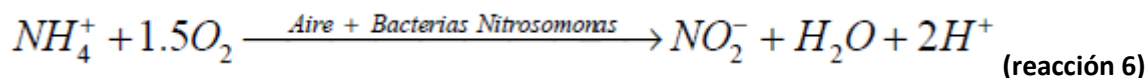
Con este método se consigue eliminar el nitrógeno amoniacal del agua generando subproductos de desinfección, como por ejemplo las cloraminas.

### 6.2.2. Nitrificación-desnitrificación (Tratamiento Biológico)

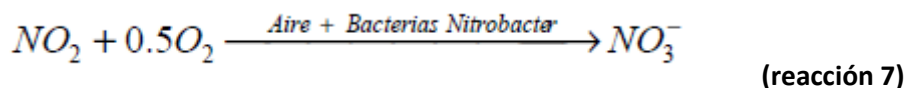
Este método es el más empleado a escala mundial por las plantas de tratamiento de aguas.

El proceso consiste en hacerle un tratamiento biológico al agua mediante bacterias para, en primer lugar, transformar el nitrógeno amoniacal en nitratos y, en segundo lugar, transformar esos nitratos en nitrógeno gas.

En esta primera fase del tratamiento (también llamado “Nitrificación”) consiste en la transformación de los iones amonio a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), mediante bacterias nitrosomonas.



Seguidamente, se transformarían los nitritos a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), mediante bacterias Nitrobacter.

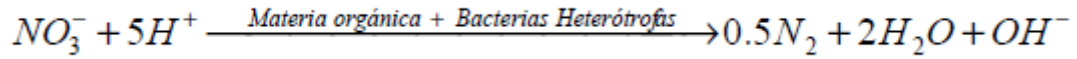


Esta primera fase precisa de aireación continuada ya que son bacterias aerobias las que realizan las transformaciones de materia.

Esta primera fase suele producirse en el reactor biológico a la vez que la descomposición de la materia orgánica biodegradable.



La segunda fase del tratamiento (también llamada “Desnitrificación”) consiste en transformar los nitratos en nitrógeno gas (N<sub>2</sub>) que se iría directamente a la atmósfera.



(reacción 8)

Esta fase la realizan bacterias anaeróbicas, por lo que no es necesario insuflar aire. La desnitrificación se suele producir en el reactor anóxico y suele ir ubicado justo antes del reactor biológico. (12)

A continuación, se puede ver un esquema de todo este proceso.



Figura 14. Proceso de desnitrificación. (12)

### 6.2.3. Electrooxidación

La electrooxidación es un método que consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por el agua que actúa como electrolito mediante un cátodo y un ánodo. De esta forma se consigue transformar el amonio y/o amoniacado en nitrógeno gas principalmente.

Las ventajas a priori de este método sobre los demás son:

- Facilidad de operación (el único reactivo es la electricidad)
- Menores costes de implantación (no necesita obra civil como en el tratamiento biológico o precipitación química)
- No hay coste de almacenamiento ni compra de reactivos, como puede ser el caso de la cloración o la precipitación química
- Al no incluir reactivos se generan muy pocos subproductos postratamiento
- Muy baja superficie en planta ocupada
- Bajo tiempo de retención hidráulico
- Facilidad de cambio de escala: de unos pocos litros a millones de litros
- No es necesario una actividad mínima como en el caso del tratamiento biológico para que los microorganismos no se mueran. En este caso se trabaja a la intensidad deseada y se arranca y para el sistema de forma inmediata
- Automatización sencilla
- Baja cualificación necesaria de los operarios

La principal y casi única desventaja es el gran coste energético y, por tanto, operacional que supone debido al alto consumo eléctrico y al elevado precio de la electricidad. (12)

A continuación, se muestra un diagrama donde se puede observar el proceso de electrooxidación.

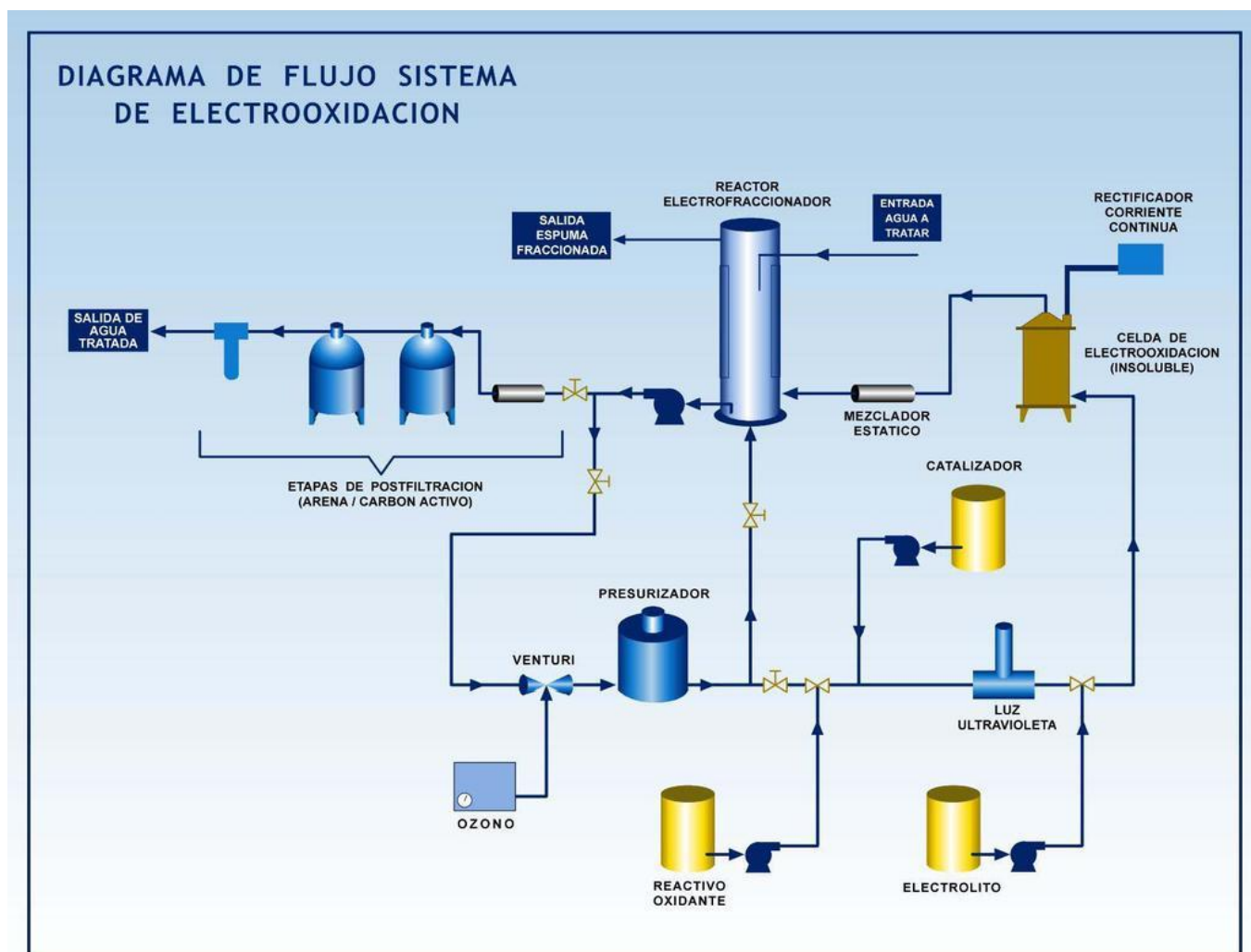


Figura 15. Diagrama de flujo del sistema de electrooxidación

(13)

## 7. PROBLEMÁTICA DENTRO DE LA EMPRESA DOSIM S.L.U

DOSIM S.L.U es una empresa que lleva 30 años dentro del sector de tratamiento de aguas, dando solución a los distintos problemas de dosificación y medición que surgen a la hora de querer o necesitar llevar un correcto control del agua.

Dentro de su gama de productos dedicados a la medición de distintos parámetros, nos encontramos con los siguientes:

- **Sondas amperométricas abiertas para la detección de:** cloro libre (orgánico e inorgánico).

Ejemplo:

### **Modelo ECL6 (electrodos platino-cobre)**

- Medida de cloro libre (orgánico e inorgánico)
- Escala de 0 a 10 mg/l con estabilizador de caudal
- Presión de trabajo: 0,4 – 3 bar
- Temperatura máx.: 40°C
- Racords: 6x8
- Cable 1,5 m
- Regulación de caudal
- Porta electrodos pH, Redox
- Preparada para sonda de temperatura (tipo ETEPCH18 o ETEPTCH18)



*Figura 16. Sonda amperométrica abierta*

- **Sondas amperométricas cerradas para la detección de:** cloro libre (orgánico e inorgánico), cloro libre inorgánico, cloro total, bióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, ozono, ácido peracético, bromo y clorito.

Ejemplo:

### **Modelo SCL3N/20**

- Medida de cloro libre (inorgánico)
- Escala de 0 a 20 mg/l
- Presión de trabajo max: 1 bar
- Temperatura máx.: 1 a 40°C
- Electrolito: ELESCL3N
- Membrana: MESCL3
- Cable 1 m
- Compensada en temperatura y pH



*Figura 17. Sonda amperométrica cerrada*

- **Sondas para la detección de pH**

Ejemplo:

**Modelo EPHS**

- Electrodo combinado
- Escala 0-14pH
- Presión máx.: 7 bar
- Temperatura máx.: 70°C
- Presión/Temp (3,5 bar/80°C)
- Conexión: BNC
- Cable 0,8 m
- Cuerpo  $\phi$ 12 Epoxi
- Conductividad mín. 100uS



Figura 18. Sonda de pH

- **Sondas para la detección de RH**

Ejemplo:

**Modelo ERHS**

- Electrodo combinado
- Escala +/- 1000 mV
- Presión máx.: 7 bar
- Temperatura máx.: 70°C
- Presión/Temp (3,5 bar/80°C)
- Conexión: BNC
- Cable 0,8 m
- Cuerpo  $\phi$ 12 Epoxi
- Conductividad mín. 100uS



Figura 19. Sonda de RH

- **Sondas para la Temperatura**

Ejemplo:

**Modelo ETEPTCH18**

- Sonda por compensación de temperatura
- Escala 0 a 100°C
- Presión máx.: 10 bar
- Cable 4m
- Cuerpo: PVDF (rosca 1/2")
- Sensor: PT100
- Aplicación: ECL6 / PEF



Figura 20. Sonda de temperatura

- **Sonda para Conductividad con electrodos en acero inox (aisi 316)**

Ejemplo:

**Modelo EICDCPT/1**

- Electrodo: Inox
- Escala: EICDCPT/1: 0-20 mS (K=1)
- Presión/Temperatura máx.: 15 bar/130°C
- Cable 5 m
- Cuerpo: Acero Inox (rosca Gc 3/4")
- Compensación de temperatura: PT100



*Figura 21. Sonda de conductividad*

- **Sonda para oxígeno disuelto**

Ejemplo:

**Modelo EOLUM**

- Medida: Oxígeno disuelto según el principio de la fluorescencia
- Escala: De 0 a 20 mg/l O<sub>2</sub>
- Presión/Temperatura máx.: 10 bar/ -5 a 60°C
- Racord: G1
- Cable 15 m
- Materiales:
  - Cuerpo del sensor: Acero inox.
  - Cubierta con parte fluorescente: POM
- Compensación de temperatura: PT100



*Figura 22. Sonda de oxígeno disuelto*

- **Sonda para turbidez**

Ejemplo:

**Modelo ETORB2A (instalación en vaso portasondas)**

- Sonda: Con entrada aire/agua para autolimpieza
- Escala: 0-4000 NTU
- Cable: - ETORB2A: 5 m
- Materiales: PVC con ópticas de zafiro



*Figura 23. Sonda de turbidez*

- **Sonda para PTSA**

Ejemplo:

**Modelo ETRC**

- Medida: Trazante
- Cuerpo en PVC
- Fuente de señal a led



*Figura 24. Sonda de PTSA*

- **Sonda para corrosión.**

Ejemplo:

**Modelo ECORR**

- Sonda: Para medida de la corrosión
- Escala: 0,001-10 MPY
- Cable: 1,5 m
- Materiales: Cuerpo del sensor en Acero Inoxidable



*Figura 25. Sonda de corrosión*

Aun contando con una amplia gama de productos, continuamente se están realizando estudios sobre los diferentes parámetros que hay que tener en cuenta y hay que controlar dentro del sector del tratamiento de aguas, para que éstas sean lo menos perjudicial posible tanto para el consumo humano, como para el medio ambiente.

A día de hoy, podemos ver en el “Boletín Oficial del Estado” (BOE), un escrito/documento con referencia “DOUE-L-2020-81947” del 23 de diciembre de 2020, donde se establece el marco legal para proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas destinadas al consumo humano garantizando su salubridad y limpieza.

A tal efecto, se hace necesario el establecimiento a escala de la Unión de los requisitos mínimos que deben cumplir las aguas destinadas a ese fin. Los Estados miembros deben adoptar las medidas necesarias para garantizar que las aguas destinadas al consumo humano no contienen ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración, que, en determinados casos, suponen un peligro potencial para la salud humana, así como para garantizar que esas aguas cumplan tales requisitos mínimos. (14)

Como bien se indicaba anteriormente, esto fue publicado el 23 de diciembre del 2020, dato que nos indica que aunque la sociedad lleva ya bastante tiempo regulando estos valores para mejorar la calidad del agua, se siguen realizando estudios para intentar poder garantizar el mejor agua de consumo humano posible.

A continuación, se muestra una pequeña parte de la tabla ([extraída del BOE](#)) que muestra los valores paramétricos de los requisitos mínimos que se emplean para evaluar la calidad del agua.

**ANEXO I**

**REQUISITOS MÍNIMOS DE LOS VALORES PARAMÉTRICOS EMPLEADOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO**

Parte A			
Parámetros microbiológicos			
Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Enterococos intestinales		0 número/100 ml	Para el agua envasada en botellas u otros recipientes, la unidad es número/250 ml.
Escherichia coli (E. coli)		0 número/100 ml	Para el agua envasada en botellas u otros recipientes, la unidad es número/250 ml.
Parte B			
Parámetros químicos			
Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Acrilamida		0,10 µg/l	El valor paramétrico de 0,10 µg/l se refiere a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las especificaciones de la migración máxima procedente del polímero correspondiente en contacto con el agua.
Antimonio		10 µg/l	
Arsénico		10 µg/l	
Benceno		1,0 µg/l	
Benzo(a)pireno		0,010 µg/l	
Bisfenol A		2,5 µg/l	
Boro		1,5 mg/l	Se aplicará un valor paramétrico de 2,4 mg/l cuando el agua desalinizada sea la fuente predominante del sistema de suministro en cuestión o en regiones en las que las condiciones geológicas puedan provocar niveles elevados de boro en aguas subterráneas.
Bromato		10 µg/l	
Cadmio		5,0 µg/l	

(14)

El cumplimiento de una serie de requisitos mínimos que debe de tener el agua, para entrar dentro de los valores establecidos, para no perjudicar a la salud o el medio ambiente, no sólo afecta al tratamiento del agua que va destinado al consumo humano, sino que también a casi todo el tipo de agua que pueda ser utilizada para otros fines como el agua de riego utilizada en la agricultura o, las aguas residuales que son vertidas a ríos, mares, etc.

Por ello, DOSIM ha decidido apostar por la ampliación de su gama de productos para poder abarcar más campos y así poder ofrecer más soluciones a sus clientes.

Es por eso que se decidió plantear el proyecto en 2 posibles casos a estudiar, para ver cual acabaría por ser el más beneficioso tanto a la hora de poder satisfacer las necesidades del cliente, como a la hora de poder introducir ese producto en la empresa.



## 7.1. Propuestas de resolución del problema

Como bien se mencionaba anteriormente, se plantearon de inicio dos posibles casos para llevar a cabo este proyecto, que fueron: el contactar con uno o varios proveedores para ver si nos pueden facilitar el producto deseado, o fabricar nosotros ese mismo producto que necesitamos.

### 7.1.1. Proveedores

Desde que se puso el proyecto en marcha, decidimos que una de las posibles soluciones, podría ir dirigida a la opción de poder conseguir los productos deseados a través de algún proveedor que nos los pudiese facilitar.

Esta solución tendría que ir acompañada de un estudio de mercado del sector de tratamientos de aguas ya que al haber bastantes empresas (incluidas multinacionales) dentro de este sector, habían algunas que ya contaban con los productos que deseábamos implementar en la empresa y por ello, habría que intentar buscar un nuevo proveedor que no trabajase ya para alguna de las empresas de la competencia y sobre todo, dejar a un lado la idea de llegar a un acuerdo con alguna de esas multinacionales porque no nos iba a resultar beneficioso a la hora de conseguir nuestro objetivo, que es poder ampliar nuestro catálogo de productos para solventar el máximo de problemas posibles por parte de nuestros clientes y colocarnos dentro del mercado como una posible competencia de cara a esas empresas que ya constan con esos productos.

### 7.1.2. Fabricación

La otra posible solución pensada al inicio de este proyecto, fue la idea de fabricar nosotros mismos esos productos que queríamos implementar en la empresa.

Para ello, teníamos que hacer un estudio sobre los distintos tipos de medición de nitrato y amonio (como ya se ha explicado en el punto 5) y buscar la forma correcta de implementar esa técnica en un producto cuya funcionalidad sea la esperada y resulte rentable para la empresa seguir con esa idea.

Esta idea se podría llevar a cabo ya que DOSIM, dispone de una fábrica en León, donde se podría llevar a cabo el desarrollo de ese producto, a la par que podría ir siendo testeado en las instalaciones que tiene en Barcelona, ya que dispone de un taller con instalaciones (simulando a casos de instalaciones reales) para realizar dichas pruebas con el producto durante su desarrollo.

## 7.2. Selección de la propuesta final a desarrollar

Tras ciertas reuniones que se hicieron internamente entre varios miembros de la empresa, como técnicos del departamento de STV, el jefe del mismo departamento, el Product Manager de la empresa y el propio jefe de ésta, se determinó que la opción elegida para seguir adelante con ella, sería la de buscar un posible proveedor que nos pudiera suministrar los productos adecuados que se querían implementar en la empresa.

Esta decisión se tomó tras tener en cuenta una serie de problemáticas que están afectando al mercado a nivel global, ya que se vio que podrían dificultar bastante el camino a la hora de poder desarrollar un producto por nosotros mismos y llevar a cabo el proyecto.

El principal problema y motivo por el que se decidió descartar la opción de desarrollar un producto, fue por la gran escasez de suministros a nivel mundial en el que nos encontramos. La escasez de chips, el colapso de puertos, el encarecimiento de materias primas y la falta de transportistas son algunos de los efectos más visibles de las disrupciones en la cadena de suministro. Se trata de una situación que se ha extendido a nivel mundial como consecuencia de la globalización. La crisis de las materias primas está provocando un fuerte impacto a empresas de diferentes sectores y, el del tratamiento de aguas en el que se encuentra DOSIM, no iba a ser uno menos.

Durante las primeras fases de la pandemia, la demanda se vio afectada debido al cierre de varias empresas. Después de esas fases, cuando empezó a reactivarse el mercado poco a poco, la rápida recuperación de la demanda a escala global (perdida durante la primera fase de la pandemia) ha provocado un aumento del coste de las materias primas, y generando problemas de abastecimiento que están afectando a las empresas que dependen de estos materiales durante sus procesos productivos.

Conociendo dicha problemática, y sabiendo que durante el proceso de desarrollo de un producto se tienen que llevar a cabo varios ensayos con diferentes prototipos de éste hasta llegar a una primera fase final del producto, no se vio viable encaminar el proyecto por esa vía ya que, durante el proceso, requeriríamos de bastante materia prima para realizar los diferentes ensayos mencionados anteriormente.

Por ello, como se mencionó al principio de este punto, se decidió avanzar con la idea de buscar un proveedor que nos suministrase los productos que buscábamos.

## 8. ESTUDIO DE MERCADO

Desde que se optó por seguir la opción de buscar “esos” productos en el mercado, e intentar llegar a un acuerdo con algún proveedor para que nos suministrase esos productos, se inició un estudio de mercado enfocado a la búsqueda de ese proveedor.

### 8.1. Búsqueda de proveedores

A la hora de realizar la búsqueda de un proveedor, se siguieron una serie de pasos para llevarla a cabo de la mejor manera posible.

Para ello, se quiso empezar con una búsqueda masiva para anotar todas aquellas empresas que se viesen que suministraban sondas de detección del catión amonio y los nitratos.




Una vez realizada esa búsqueda, se filtraron aquellas que parecían ser empresas oficiales y no páginas de distribución de productos falsos o de baja calidad.

A parte, también se tuvieron en cuenta las siguientes características técnicas, para ver si las sondas que podrían llegar a ser introducidas en DOSIM en un futuro, serían compatibles o no con los equipos de instrumentación que ya dispone DOSIM en su gama de productos, para así aprovechar esos equipos y hacer la implementación de ellas, mucho más fácil para la empresa.

- **Método de detección**  
Ej: Mediante tecnología ISE o fotometría...
- **Rango de medición**  
Ej: de 0,00 a 100 mg/l...
- **Temperatura máxima**  
Ej: 80°C
- **Presión máxima**  
Ej: 2 bares
- **Tiempo de respuesta**  
Ej: < 1min.
- **Alimentación**  
Ej: 12/24 VCC
- **Consumo energético**  
Ej: < 7 W
- **Protocolos de comunicación**  
Ej: Ethernet (TCP/IP), RS-485 (Modbus RTU)

- **Clase de protección**  
Ej: IP68
- **Intervalo de mantenimiento**  
Ej: Casa 9 meses
- **Tipo de conexión**  
Ej: BNC, 2 hilos, SN6...

Después de ese paso, se quedaron un total de 10 empresas:

1. BC-ELECTRONICS → 
2. CLEAR WATER SENSORS → 
3. ENDRESS & HAUSER →   
Endress+Hauser
4. HACH → 
5. HANNA → 

6. METTLER TOLEDO →



7. NT SENSORS →



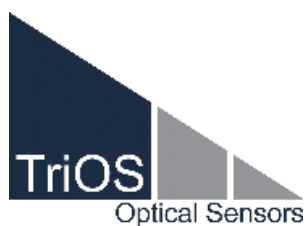
8. SEBA HYDROMETRIE →



9. THERMOFISHER →



10. TriOS →




Partiendo de estas 10 empresas, se procedería al proceso de selección final de un futuro proveedor la empresa.

## 8.2. Selección del proveedor

Para elegir al posible proveedor final entre estas 10 empresas, primero se tenía que hacer otro proceso de selección que, como bien se ha dicho anteriormente, al querer entrar en el mercado siendo una posible amenaza para las empresas de la competencia que ya tienen ese producto en su catálogo, estaría dedicado a descartar aquellas empresas que sean multinacionales o aquellas que ya cuenten con un distribuidor potente a nivel nacional.

Una vez realizado ese proceso de selección, se quedaron las siguientes 4 empresas, como posibles proveedores de sondas de detección de nitratos y el catión amonio para DOSIM.

1. CLEAR WATER SENSORS → 

2. NT SENSORS → 

3. SEBA HYDROMETRIE → 

4. TriOS → 

Después de realizar esa filtración y quedarse con esas 4 empresas, se debía pasar al siguiente paso, que era el de tener un primer contacto con esas empresas, preparando una especie de carta de presentación destinada a que esas empresas puedan conocer de manera superficial a lo que se dedica DOSIM, a presentar su nueva idea de proyecto que tienen entre manos, solicitar información sobre los productos que desearía estudiar para ver si una posible implementación de ellos en la empresa, sería factible o no y, por último, hacerles saber que, en el caso de que estuviesen interesados en sus productos, se les haría una propuesta de colaboración para que fuesen proveedores suyos.

Para ello, DOSIM me encargó a mi este proceso de contactar con dichas empresas y, para ello, tuve que realizar la siguiente carta en inglés (como idioma estándar) para hacerlo.

### **COVER LETTER**

*Dear Sirs / Madams from "ClearWater Sensors",*

*My name is Víctor Miralles and I am writing to you from "DOSIM S.L.U" where I work as a technical support.*

*The DOSIM group distributes products for the dosage, measurement and control of chemical products for different sectors such as swimming pools, clean water treatment, waste water, etc...*

*We would like to have as much information as possible about the system that the probe uses to measure nitrate, as well as the general characteristics of the sensor with all the available functions.*

*It would also be interesting for us to receive a product manual to better understand how it works, as we seek to include a probe with similar characteristics in our product range.*

*If you could be interested in having a distributor in Spain, with an extensive established commercial network (18 commercial technicians in the company) and more than 25 years of experience in the market, once their products and prices have been analyzed, we could talk about a possible collaboration.*

*Thanks in advance for your collaboration.*

*Sincerely,*

*Victor Miralles*

## **Contacto con NT SENSORS**

Una vez enviada esa carta de presentación a las empresas a finales de octubre, concretamente el día 28, y no fue hasta el día 13 de diciembre que recibimos la primera respuesta de una de las 4 empresas, en este caso, la respuesta la recibimos por parte de NT SENSORS.

En el correo de respuesta, nos agradecieron nuestro interés en sus productos y les gustó la idea de poder llegar, en un futuro, a un posible acuerdo de colaboración con ellos. En ese mismo correo, nos hicieron una breve presentación sobre ellos y, nos propusieron realizar una videoconferencia vía SKYPE para conocernos mejor unos con otros.

Dicha reunión se produjo el día 20 de diciembre. En la reunión, estuvieron presentes la jefa del departamento de servicio técnico y la ingeniera de ventas por parte de NT SENSORS, y por nuestra parte (DOSIM) estuvimos presentes: el jefe del departamento de servicio técnico, el Product Manager y yo, que formo parte del servicio post-venta dentro del departamento de servicio técnico.

Durante la reunión, NT SENSORS, nos explicó el funcionamiento de sus equipos y los diferentes productos que tenían, de manera más detallada de como se explica en su página web. Y por parte de DOSIM, se les explicó el porqué de ese interés, de manera más detallada de lo que se le explicó en la carta de presentación, y se le facilitaron algunos datos (de manera superficial) como el alcance de la red de distribución que dispone la empresa, los años de experiencia que tiene en el sector la empresa y alguno de los proyectos que realiza, para que ellos viesan también si les sería interesante o no llegar a un acuerdo entre empresas en un futuro.

Al finalizar la reunión, NT SENSORS, nos iba a enviar ciertos documentos como: información más detallada y técnica de sus productos, su catálogo con los diferentes modelos disponibles y su tarifa con los precios PVP de los productos.

Una vez recibimos la información, los 3 integrantes de DOSIM, que estuvimos presentes en la videoconferencia, nos reunimos para analizar esa información que nos habían enviado. Dicha reunión se produjo el día 23 de diciembre.

Durante la reunión, nos surgieron diferentes dudas/consultas más técnicas para plantearles a NT SENSORS, ya con la idea de ver cómo se podrían implementar sus sondas o productos en DOSIM. Para ello, hicimos un listado con esas consultas, y se me encargó a mí la tarea de organizar una reunión con ellos, para mirar de solventar esas consultas que teníamos respecto a sus productos y la implementación de ellos en DOSIM.

Para organizar esa reunión, ese mismo día, 23 de diciembre, les mandé un correo proponiéndoles nuevamente una reunión para ver si nos podrían aclarar esas dudas que teníamos y así poder analizar mejor la situación y ver si finalmente vemos factible implementar sus productos en DOSIM, y avanzamos en el proceso con ellos o, de lo contrario, dejamos la idea de una posible colaboración con ellos en ese punto.



No fue hasta el día 10 de enero del 2022, que se pusieron en contacto conmigo para decirme que no tendrían ningún problema para realizar esa reunión. Tras analizar la disponibilidad por su parte y la nuestra, llegamos a un acuerdo de realizar dicha reunión el viernes 14 de enero.

En esa última reunión realizada, previamente a la entrega final de este proyecto, les expusimos nuestras dudas técnicas sobre sus productos, como por ejemplo: el proceso de calibración de las sondas, cómo interpreta el equipo la señal recibida por parte de las sondas y cómo la interpreta, cómo el equipo realiza el registro de las lecturas que va haciendo, cómo se podría unir la instrumentación de DOSIM con dichas sondas, etc.

Tras finalizar la reunión, me puse en contacto tanto con el jefe del departamento de servicio técnico, como con el Product Manager de la empresa, para organizar nuevamente una reunión a nivel interno de la empresa, para explicarles la información recibida por parte de NT SENSORS, que daban respuesta a las consultas que surgieron previamente.

La fecha acordada para realizar dicha reunión, es el 18 de enero de 2022.

### **Contacto con SEBA-HYDROMETRIE**

Al margen del contacto con NT SENSORS, la empresa SEBA-HYDROMETRIE, fue la segunda en contactar con nosotros. Para ser preciso, el contacto se produjo el día 15 de diciembre.

La empresa nos contestó a la carta de presentación, agradeciendo nuestro interés en sus productos y anunciando que ya conocían de oídas a DOSIM. En el correo de respuesta, también nos indican que su empresa ya dispone de una delegación llamada RAMTOR, que ya distribuye dichos productos a nivel nacional, por lo que podrían estar abiertos a nuevas propuestas de colaboración, pero tendrían que ver un gran beneficio detrás de esa idea, para que se pudiera llevar a cabo un acuerdo entre ellos y DOSIM.

Una vez comentada esa información con el jefe del departamento del servicio técnico y el Product Manager de DOSIM, se decidió no avanzar por esta vía y se cortó el contacto con ellos ese mismo día.

## 9. VALORACIÓN FINAL

Este proyecto tenía como finalidad intentar ayudar a la empresa DOSIM S.L.U, con un proyecto que tenía en mente empezar desde hace un 1 año, pero que no había podido indagar en él por falta de una figura dentro de la empresa, que conociese cómo funciona DOSIM y que fuese capaz de realizar este proyecto sabiendo qué es lo mejor para la empresa y poder conseguir cumplir el objetivo de la mejor manera posible.

Para ello, durante mi periodo de prácticas que realicé entre julio y finales de septiembre del 2021, en la empresa, se me estuvo formando sobre cómo funcionaban los distintos productos de DOSIM y sobre cómo funcionaban los distintos departamentos de la empresa para que, una vez tuviese toda esa información interiorizada, pudiese empezar con el proyecto de implementación de sondas de medición de amonio y nitratos que ya tenían en mente empezar.

El proyecto fue iniciado a principios de octubre de 2021 con la idea de que, para mediados de enero de 2022, ya se hubiese podido implementar dichos productos a la empresa.

Partiendo de esa idea principal, empezamos a avanzar con el proyecto, pero, por diferentes inconvenientes durante su proceso de desarrollo, como algunos “parones” durante la fase inicial del mismo, al ver la necesidad de recibir ciertas sesiones de formación para adquirir conocimientos de la empresa que necesitaba tener, que iban saliendo y que en un principio no se plantearon como conocimientos importantes para la realización del mismo.

Otro inconveniente, ha sido la falta de información previa que había respecto este tipo de sondas, que provocó que se tuviera que hacer una extendida búsqueda de información al respecto para conocer este tipo de productos y poder embarcar el proyecto hacia un camino u otro.

Y, por último, el principal inconveniente ha sido la tardía respuesta que recibimos por parte de las empresas con las que se contactó, ya que, entre el envío de la carta de presentación y sus respuestas, pasó mes y medio, tiempo que, si hubiese sido bastante inferior, quizás se hubiese podido llegar a conseguir el objetivo inicial de implementar dichas sondas en DOSIM de cara a mediados de enero del 2022.

Dicho esto, decir que la valoración final del proyecto es agri dulce. La parte negativa, es que no se ha llegado a cumplir el objetivo inicial de conseguir esa implementación de las sondas de medición de amonio y nitratos de cara a mediados de enero de 2022 como se tenía en mente inicialmente. Y, por otro lado, la parte positiva, es que este desarrollo del proyecto sigue en pie a nivel interno de la empresa, de la que sigo formando parte a día de hoy, y como se ha mencionado anteriormente, sigue un buen cauce y posiblemente se consiga cerrar el proyecto más pronto que tarde.

## 10. IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se estudiará el impacto ambiental generado en este proyecto.

El impacto ambiental se define como las consecuencias provocadas por la acción humana que modifican, de alguna manera, las condiciones de supervivencia de los ecosistemas. Por este motivo se realiza este estudio para asegurar al máximo respeto a los factores medioambientales y humanos, buscando maximizar los efectos positivos y minimizando sobre todo los negativos.

Dado que el proyecto ha sido de carácter teórico dentro de su grado de investigación y, no ha tenido parte experimental, el único gasto a tener en cuenta sería el consumo eléctrico de los diferentes dispositivos utilizados durante el proceso.

El consumo de estos aparatos se ven reflejados a continuación:

**Tabla 5. Energía consumida de cada aparato en la empresa**

Aparato	Potencia (W)	Horas	Energía (kWh)
Monitor	15	544	8,160
Ordenador de mesa	200	544	108,800
Teléfono móvil	15	544	8,160
Televisor de 45"	250	75	18,750

<b>TOTAL</b>	143,870 kWh
--------------	-------------

## 11. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este apartado se hace un estudio sobre los diferentes costes asociados al desarrollar el proyecto.

- **Coste de electricidad**

En este apartado se tiene en cuenta los costes energéticos totales de electricidad consumida durante el desarrollo del proyecto.

Para este cálculo, se han obviado algunos consumos como: los consumos de la iluminación de las oficinas, el consumo del aire acondicionado, el consumo de los ascensores, etc.

Para este cálculo, utilizaremos el valor total de kWh consumidos que hemos obtenido en la tabla 1. Dicho consumo era de 143,870 kWh. Conociendo que el coste de energía en España ronda los 0,253 €/kWh, realizamos el cálculo para obtener el coste energético total consumido.

**Tabla 6. Costes de electricidad**

Energía consumida (kWh)	Precio (€/kWh)	Coste (€)
143,870	0,253	36,39

- **Coste del personal**

En este apartado se calculará el coste del personal implicado en el proyecto durante su desarrollo.

Durante el desarrollo del proyecto, se ha visto implicada la figura del jefe del departamento del servicio técnico de la empresa, realizando sesiones de formación y estando presente en diferentes reuniones. Teniendo en cuenta que su figura corresponde a un grupo cuyo salario mínimo es de 17.434,61 €/año, si trabaja 5 días a la semana y 40 horas semanales, el precio por hora sería de 7,78 €.

También se ha visto involucrada la figura del Product Manager de la empresa. Teniendo en cuenta que su figura corresponde a un grupo cuyo salario mínimo es de 29.400 €/año, si trabaja 5 días a la semana y 40 horas semanales, el precio por hora sería de 15,57 €.

Por parte de la universidad, se debe de involucrar la figura del profesor a la hora de tener en cuenta las horas invertidas en el proceso de revisión de la memoria. Si damos por hecho que su figura pertenece al de un diplomado de tercer ciclo universitario, con un salario mínimo anual de 23.480,62 €, se obtendría un precio por hora de 11,28€.

Y, por último, se encuentra mi papel dentro del proyecto, siendo la figura principal, teniendo un convenio de prácticas externas en empresa de 8€ la hora.

En la tabla de a continuación, se recogen todos estos datos y cálculos necesarios para obtener el coste total del personal implicado durante el desarrollo del proyecto.

**Tabla 7. Costes totales del personal**

Personal	Cantidad (h)	Salario (€/h)	Coste (€)
Jefe de STV	25	7,78	194,50
Product Manager	25	15,57	389,25
Profesor	20	11,28	225,60
Estudiante	544	8,00	4.352,00
<b>TOTAL</b>			<b>5.161,35 €</b>

- **Coste total**

Conociendo el gasto energético de 36,39€ y el gasto del personal de 5.161,35€, obtenemos un coste total del proyecto de **5.197,74€**

## Conclusiones

En este proyecto, se ha intentado conseguir una serie de objetivos que tenían como finalidad ayudar a la empresa DOSIM.S.L.U implementar sondas para la detección de amonio y nitratos en su gama de productos para comercializarlas. A continuación, se exponen las conclusiones finales.

Primeramente, se ha conseguido adquirir (por mi parte) el conocimiento necesario de cómo funciona la empresa, para poder entender mejor las necesidades que querían solventar y así poder y enfocar mejor el proyecto a desarrollar.

Dicho conocimiento se ha adquirido gracias a varias sesiones de formación para conocer mejor los diferentes productos con los que se trabajan y viendo y trabajando en algunos de los diferentes departamentos que conforman la empresa, como puede ser el departamento de taller, el de almacén, el de pedidos o el de servicio técnico.

En segundo lugar, se ha cumplido con el objetivo de hacer un estudio teórico junto a una búsqueda de información relacionada con el catión amonio y los nitratos, para entender mejor los distintos problemas que puede haber con estos iones si no son regulados durante los diferentes métodos de tratamiento de aguas y, como se pueden detectar estos iones, y finalmente, como eliminarlos o regularlos.

Seguidamente, se ha dado por válido el estudio de mercado realizado para encontrar una empresa que disponga de sondas de detección de amonio y nitratos, para contactar con ellos con la idea de poder llegar a colaborar con ellos en un futuro, en el supuesto caso de que finalmente se defina como buena la opción de realizar dicha implementación de sus productos en la gama de productos de DOSIM.

Y finalmente, desgraciadamente, concluir diciendo que no se ha podido conseguir el objetivo final del proyecto, que era el hecho de poder presentar un proyecto acabado, donde se pudiera hacer una presentación de los nuevos productos (las sondas de detección de amonio y nitratos) que se han podido implementar en la empresa DOSIM gracias a la realización de este proyecto.

## Bibliografía

1. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 7 de octubre de 2021.]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_n%C3%ADtrico](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_n%C3%ADtrico). 3.
2. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 5 de octubre de 2021.]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sal\\_\(qu%C3%ADmica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Sal_(qu%C3%ADmica)). 1.
3. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 6 de octubre de 2021.]  
<https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%89ster>. 2.
4. Wikipedia. [En línea] 8 de octubre de 2021.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Amonio>.
5. CAIB. [En línea] [Citado el: 7 de octubre de 2021.]  
<https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/nitrats-26197/>.
6. Nexus. [En línea] [Citado el: 7 de octubre de 2021.]  
<http://www.nexus.org.ar/trabajos%20publicados/Nitratos%20en%20el%20%20medio%20ambiente-qu%C3%A9%20se%20sabe%20y%20qu%C3%A9%20se%20dice%20-%202004.pdf>.
7. ATSDR. [En línea] [Citado el: 8 de octubre de 2021.]  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs204.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.html).
8. [aut. libro] David Harvey. *Química analítica moderna*. Madrid : McGraw-Hill Interamericana, 2002.
9. Wikitoshare. [En línea] [Citado el: 17 de octubre de 2021.]  
[https://wikitoshare.com/es/Divinyl\\_benzene](https://wikitoshare.com/es/Divinyl_benzene).
10. Madrimasd. [En línea] [Citado el: 27 de octubre de 2021.]  
<https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>.



11. Ritasa. [En línea] [Citado el: 28 de octubre de 2021.]  
<http://www.ritasa.com/desnitratacion-de-agua/>.
12. IUACA. [En línea] [Citado el: 29 de octubre de 2021.]  
<https://iuaca.ua.es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm08/tfm08-angel-cid-amor.pdf>.
13. DocPlayer. [En línea] [Citado el: 30 de octubre de 2021.]  
<https://docplayer.es/65684760-Tratamiento-de-las-aguas-residuales-mediante-la-tecnologia-de-electrooxidacion-avanzada.html>.
14. BOE. [En línea] [Citado el: 26 de octubre de 2021.]  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2020-81947>.



