

Sistema experto basado en reglas, para determinar la calidad de las aguas superficiales del litoral atlántico andaluz

Nombre Estudiante: Daniel J. Torres Rodríguez

Plan de Estudios del Estudiante: Grado en Informática

Área del trabajo final: 75.629 TFG – Inteligencia artificial

Nombre Consultor/a:

Dr. David Isern Alarcón

Nombre Profesor/a responsable de la asignatura:

Dr. Carles Ventura Royo

Fecha Entrega: 06/2019



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Copyright © 2019 Daniel J.Torres Rodríguez.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

© Daniel J. Torres Rodríguez

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Sistema Experto basado en reglas, para determinar la calidad de las aguas superficiales del litoral atlántico andaluz.</i>
Nombre del autor:	<i>Daniel J. Torres Rodríguez</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Dr. David Isern Alarcón</i>
Nombre del PRA:	<i>Dr. Carles Ventura Royo</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	06/2019
Titulación:	Grado en Informática
Área del Trabajo Final:	75.629 TFG – Inteligencia artificial
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>Inteligencia Artificial, Sistema Experto, Calidad de Aguas Superficiales.</i>
Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras):	
<p>La inteligencia artificial aplicada al control inteligente mediante un sistema experto basado en reglas, es un método idóneo para el análisis de grandes volúmenes de datos complejos que contienen una amplia variedad de información. De esta manera es posible complementar la toma de decisiones del humano, minimizar errores y analizar grandes volúmenes de datos complejos de forma rápida, precisa y efectiva para conseguir una visión más completa del problema. En el control de calidad de cualquier producto se manejan este tipo de valores, en los que obtener la información relevante para la toma de decisiones por el humano se dificulta. En este trabajo se presenta una aplicación de los sistemas expertos, al control de calidad de las aguas superficiales del litoral de la vertiente atlántica andaluza. Frente al método convencional de comparación individual, el sistema experto valora de forma conjunta los datos de las mediciones <i>in situ</i> y los compara con los límites legales de calidad ambiental requeridos para cada masa de agua concreta, para así evaluar el estado químico y otros parámetros físico-químicos tales como la oxigenación o los nutrientes de las agua litorales y hacer un seguimiento de su calidad ambiental. De los resultados del análisis mediante el sistema experto, se obtienen distintos informes que evalúan la calidad de las distintas estaciones de muestreo y demarcaciones hidrográficas, en base al cumplimiento de los requisitos legales de los de los diversos parámetros estudiados. Adicionalmente, se logran extraer de éstos informes, nuevas conclusiones tales como la necesidad de evaluar riesgos ambientales potenciales, valorar la frecuencia y rigor de los análisis actuales, o establecer medidas preventivas y correctoras para mantener la calidad ambiental de las aguas del litoral.</p>	

Abstract (in English, 250 words or less):

Artificial intelligence applied to intelligent control through a rule based expert system is a promising tool for complex data analysis. Because of large amounts of dependent data can be processed in a faster and accurated way compared with the conventional methods, expert systems programation is an ideal complement to human decision making. In quality control management, individual products properties need to be matched with concrete legal specifications, being therefore an ideal candidate for applying the expert system programming method. Due to the growing interest in environmental concerns, an analysis of the quality control of surface water of the andalusian Atlantic coast based on expert system is proposed here. In comparison to traditional methods based on eye by eye direct analysis between measured data and legal requeriments, expert system presented here is able to stablish this comparative study in a more efficient way. Chemical status and others physicochemical parameters such as oxygenation or nutrients were assesed to evaluate the environmental water quality. Reports obtained after expert system analysis, provide information regarding to water quality according to legal cumpliments. As quality levels of individual parameters are limiting to water quality, reports also gives information about each station or hydrografic demarcation. In addition, new conclusions can also be extracted from these reports, such as the need to evaluate potential environmental risks, assess the frequency and rigor of current analyzes or establish preventive and corrective actions for a better andalusian coastal waters environmental water quality.

Índice

1. Introducción	5
1.1 Contexto y justificación del Trabajo	5
1.1.1. Justificación de la metodología del proyecto.....	5
1.1.2. Justificación del producto. Control de Calidad del Agua	6
1.1.3. Problemática a resolver y alcance del proyecto.....	9
1.2 Objetivos del Trabajo	10
1.2.1. Objetivo general.....	10
1.2.2. Objetivos específicos	11
1.3. Enfoque y método seguido	12
1.4. Planificación del Trabajo	12
1.5. Breve descripción del producto obtenido	14
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria	15
2. Metodología y desarrollo del producto	17
2.1. Selección de variables	17
2.1.1. Introducción	17
2.1.2. Determinar la tipología de la estación	17
2.1.3. Normas de calidad ambiental del agua.....	19
2.1.4. Proceso de valoración de datos.....	21
2.2. Base de conocimiento, conjunto de reglas	23
2.2.1. Introducción	23
2.2.2. Conjunto de reglas Tipo 1	24
2.2.3. Conjunto de reglas Tipo 2.....	28
2.2.4. Conjunto de reglas Tipo 3.....	29
2.2.5. Conjunto de reglas Tipo 4.....	31
2.2.6. Conjunto de reglas Tipo 5.....	39
2.3. Motor de inferencia	43
2.4. Codificación del Sistema Experto	43
2.5. Validación del Sistema Experto	50
3. Conclusiones	53
3.1. Conclusiones de la metodología y del producto obtenido	53
3.2. Limitaciones y perspectivas	54
3.2.1. Limitaciones en la selección de variables	54
3.2.2. Limitaciones en el desarrollo del producto.....	54
3.2.3. Perspectivas de aplicación.....	55
4. Glosario	56
5. Bibliografía	57
6. Anexos	61
6.1. Anexo de legislación en materia de aguas	61
6.2. Anexo manual de usuario SeaQ	63

Lista de figuras

Ilustración 1. Distritos hidrográficos andaluces.	8
Ilustración 2. Proceso de análisis de un dato.	22
Ilustración 3. Fragmento del fichero de entrada de datos.	44
Ilustración 4. Estructura de las estaciones del sistema.	45
Ilustración 5. Fragmento del fichero de tipologías.	46
Ilustración 6. Fragmento del Informe SeaQ de evaluación de parámetros.....	48
Ilustración 7. Fragmento del informe SeaQ de evaluación de calidad de las estaciones.	48
Ilustración 8. Fragmento del informe SeaQ de evaluación ordenada de calidad de las estaciones.....	49
Ilustración 9. Fragmento del informe SeaQ de calidad por demarcación hidrográfica.....	49
Ilustración 10. Formulario web dma. Selección por demarcación hidrográfica. 64	
Ilustración 11. Formulario web dma. Selección de estaciones de muestreo. ...	64
Ilustración 12. Formulario web dma. Panel de resultados.	65
Ilustración 13. Estructura de directorios SeaQ.	65
Ilustración 14. Selección de ficheros de origen SeaQ.	66
Ilustración 15. Ejecución del programa SeaQ en IDE Spyder.	66
Ilustración 16. Ejecución del programa SeaQ vista del terminal.....	67
Ilustración 17. Fragmentos de los informes de resultados de SeaQ.	68

Lista de Tablas

Tabla 1. Problemas ambientales generales y de recursos hídricos.	7
Tabla 2. Planificación.	13
Tabla 3. Planificación. Diagrama de Gantt.	14
Tabla 4. Tipologías de las masas de agua.	18
Tabla 5. Tabla Completa NCA y Vertidos.....	20
Tabla 6. Validación de resultados.	52
Tabla 7. Legislación destacable en materia de protección y seguimiento de la calidad ambiental del agua.....	61
Tabla 8. Delimitación, denominación y clasificación de las aguas litorales atlánticas andaluzas.....	62
Tabla 9. CR, valores límite y NCA de datos no disponibles.	63

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

1.1.1. Justificación de la metodología del proyecto

El control inteligente mediante inteligencia artificial (IA) puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas; redes neuronales, algoritmos genéticos, lógica difusa y sistemas expertos [1,2].

Los sistemas expertos (en adelante SE), se definen como sistemas basados en el conocimiento del dominio de un problema específico [3], que emulan el razonamiento humano por parte de un experto en un área concreta de conocimiento, necesario para la correcta toma de decisiones a partir del análisis de la información relevante.

Inicialmente, las investigaciones en IA se centraban en la resolución de problemas generales, sin embargo, mediados de los años 60, el Doctor de la Universidad de Standford, Edward A. Feigenbaum, utilizó el término Sistema Experto por primera vez, e indicó que era necesario un cambio de enfoque hacia el conocimiento específico de un problema concreto [4].

El objetivo de los SE no es sustituir al humano experto sino complementarlo, de forma que se pueden evitar problemas relacionados como la posibilidad de cometer errores en el análisis de la información debido a factores humanos, o que sea posible el estudio de un volumen mucho más grande de datos en muy poco tiempo, debido a su capacidad computacional.

Estos sistemas se caracterizan por su capacidad para incorporar conocimiento, de forma que se puede obtener una mayor precisión de los resultados, o incluso adaptarse para que sea posible dar respuesta a problemas similares al definido originalmente.

Las estrategias de control difusas describen modelos matemáticos de sistemas complejos en forma de reglas lingüísticas, que consisten en la selección de las reglas difusas necesarias obtenidas a partir de datos numéricos etiquetados [2]. Descrita por primera vez por Zadeh como teoría de conjuntos difusos (*Fuzzy set theory*) [5], la lógica difusa está presente hoy día en diversas áreas técnicas como sistemas industriales de control, robótica o electrónica, así como en las ciencias de la salud, debido a la necesidad de gestionar datos complejos [6-9].

La relevancia en la aplicación de SE en las ciencias médicas se extiende a otras áreas como el control de calidad, puesto que en ambos casos se trata de gestionar datos complejos de entidades imprecisas.

Determinar las no conformidades de un producto sujeto a múltiples variables es el objetivo del control de calidad. Se describen en bibliografía SE aplicados al

control de calidad en ámbitos tan diversos como la edificación [10, 11], de JAVA [12], o del césped [13].

Las aplicaciones en control de calidad de SE se llevan explorando desde hace más de 30 años [14] y se siguen desarrollando en la actualidad [15, 16]. En el control de calidad de aguas, hay diversas publicaciones científicas al respecto [14, 15, 16, 17], para evaluar la calidad en ríos eslovenos [18], en Malasia [19], Ontario [20] o Brasil [21]. Debido a que las normas de calidad dependen de cada masa de agua concreta, así como de la legislación pertinente según el país, el SE debe desarrollarse en función de éstos y, actualmente, no se ha encontrado en bibliografía ningún SE para evaluar la calidad de aguas del litoral atlántico andaluz.

El uso de un SE como herramienta de apoyo a un técnico, para determinar la calidad de aguas en un entorno determinado, permite una toma de decisiones rápida y eficaz, en base al estudio de gran cantidad de datos, que junto con su capacidad de consolidar varios conocimientos, aportan una visión más completa del problema que la que puede obtener un experto.

El conocimiento global de la situación de un entorno es de gran importancia a la hora de poder aportar soluciones para su conservación y mejora. En consecuencia, las capacidades y características de los Sistemas Expertos, hacen que estos sean idóneos para su aplicación en la evaluación y estudio de diversas variables como ocurre en el control de la calidad ambiental.

En el desarrollo del proyecto, se debe crear una base de conocimiento para emular el conocimiento del experto, así como un conjunto de reglas de aplicación que permitan la obtención de resultados, generados a partir de la propia base de conocimiento del sistema.

1.1.2. Justificación del producto. Control de Calidad del Agua

El amplio listado de problemas ambientales actuales, ha creado una preocupación social fácil de percibir (Tabla 1). De entre ellos, la contaminación de las aguas es uno de los problemas ambientales y de salud pública más importantes, no sólo para la sociedad andaluza (Ecobarómetro) sino también a nivel europeo por lo que se desprende de la extensa normativa al respecto (tabla 7 del anexo), de la gestión hidrológica [22].

Los problemas derivados de una mala gestión de los recursos hídricos ponen de manifiesto la necesidad de un mayor rigor en el estudio y evaluación de los resultados de los controles de calidad de aguas contaminadas (Tabla 1).

Los Sistemas Expertos como herramienta para el control de calidad, posibilitan la inferencia de conocimiento mediante el estudio y valoración de relaciones existentes entre una serie de variables, siendo de gran utilidad para dar soporte a expertos o técnicos (humanos) en la toma de decisiones.

Se realizan controles de calidad en ámbitos muy diversos de la industria (alimentos, materiales, tejidos...), pero también para evaluar la salud medioambiental de aguas, suelos o atmósfera.

Problemas ambientales generales	Problemas derivados de la no adecuada gestión de los recursos hídricos
Cambio climático. Lluvia ácida. Efecto invernadero. Agujero de la capa de ozono. Producción y consumo Sostenible. Ocupación de suelo agrícola por los excesivos desarrollos urbanos e industriales. Contaminación del agua, aire y suelos. Pérdida de suelo por erosión. Desertización del planeta. Agotamiento de los recursos. Salud ambiental.	Destrucción de los limitados recursos hídricos y su ecosistema. Agotamiento de los recursos por la extracción excesiva e incontrolada de aguas. Disminución de la calidad del agua para abastecimiento de la población, uso para riego, pesca o industria. Disminución de la calidad del agua por vertidos procedentes de actividades agrícolas, ganaderas e industriales. Disminución grave del poder autodepurador de los cauces receptores con la consecuente destrucción de flora y fauna. Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) tienen más carga de potabilización y se generan más residuos. Riesgo de contaminación de aguas subterráneas, suelo y finalmente afectar a la cadena trófica. Peligro potencial que afecta directamente a la salud pública, influyendo sobre la economía de la sociedad o sobre su recreo y esparcimiento.

Tabla 1. Problemas ambientales generales y de recursos hídricos.
(Elaboración propia) [22] [23].

El SE propuesto puede aplicarse a distintos tipos de control de calidad, pero considerando el interés general de la sociedad actual por un medio ambiente saludable, se ha elegido estudiar la calidad del agua, y en concreto, las aguas superficiales del litoral de la vertiente atlántica andaluza.

El agua es un bien escaso, y buscar un equilibrio que permita un consumo responsable de los recursos que posibilite el desarrollo de las actividades humanas y que sea compatible con la conservación medioambiental es un tema de interés social.

Existe amplia legislación relativa a la gestión del agua para mantener la sostenibilidad de los recursos hídricos (Directiva Marco del Agua 2000/60/CE). El RD por el que se aprueba la Ley de Aguas (RD 1/2001) (Tabla 7 anexo) [22] y en concreto, los parámetros que definen la calidad de las aguas del litoral se establecen por el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se fijan los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. [24].

La contaminación del agua es un reflejo de la salud ambiental de una región. El suelo, los ecosistemas y por tanto la salud humana se ven afectadas por su mala calidad, por lo que se necesitan controles y estudios rigurosos de las mismas.

La calidad del agua viene determinada por la presencia o ausencia de especies vegetales y animales, y especialmente, por los resultados de los análisis físico-químicos. Al ser estas variables fisicoquímicas muy diversas y de difícil interpretación de forma conjunta a nivel humano, con este trabajo se propone un método basado en IA para dar una respuesta rápida y efectiva que permita agilizar el estudio de la calidad de las aguas de la vertiente atlántica andaluza.

En el presente trabajo se estudiarán los datos de distintos parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua de la vertiente atlántica andaluza en el año 2018. Extraídos de la agencia andaluza de medio ambiente y agua [25], estos datos proceden de las 53 estaciones de muestreo que se reparten entre las cuatro demarcaciones hidrográficas que forman la vertiente atlántica: la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras, la del Guadiana, la del Guadalquivir y la del Guadalete y Barbate [25] (Ilustración 1).

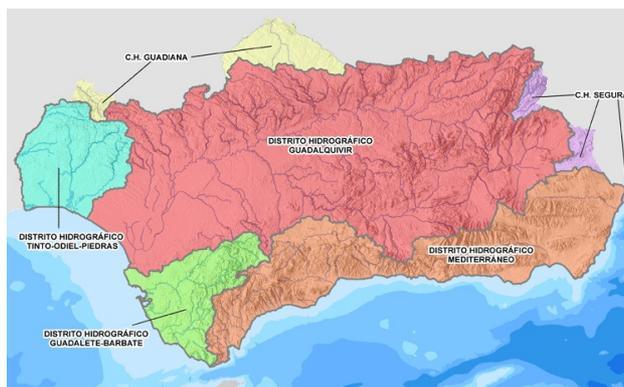


Ilustración 1. Distritos hidrográficos andaluces.

Extraída de [26].

Para evaluar la calidad de las aguas de la vertiente atlántica hay que considerar una elevada cantidad de datos físico-químicos de las distintas estaciones de muestreo. Cada uno de los parámetros tiene un orden de importancia, un valor límite aceptable y puede estar relacionado con otro parámetro de la lista de forma distinta dependiendo de la masa de agua concreta que se estudie. Además, algunas estaciones también están relacionadas al encontrarse en los límites de demarcación hidrográficas.

El método convencional basado en la comparación de cada dato individual con el valor límite de referencia, no permite evaluar todos los datos en conjunto y sus relaciones por lo que conduce a una pérdida de información importante.

La propuesta de TFG aporta una solución para la evaluación de la calidad del agua de forma que se consideren todos los datos físico-químicos y sus relaciones, en conjunto y de manera más exhaustiva, rápida y efectiva de la que se deduce del método convencional, así como presentar una ordenación

de las estaciones de muestreo según la calidad de sus aguas, aportando información difícilmente deducible mediante la observación de los datos por parte de un experto.

1.1.3. Problemática a resolver y alcance del proyecto

Es habitual disponer de una amplia serie de datos complejos en multitud de estudios de diversa índole, desde el control de calidad ambiental (aguas, suelos, atmósfera), alimentos o materiales a estudios de investigación [15-21]. La gran cantidad de información que se llega a acumular es difícil de procesar empleando los métodos convencionales, motivo por el cual en muchos casos se pierde información relevante y no se logra obtener conclusiones derivadas de la interrelación de los datos.

Debido a que los SE son capaces de manejar un gran volumen de datos [27], así como resolver situaciones complejas, su aplicación en el ámbito de la gestión de la calidad de aguas aporta una solución a los problemas de procesamiento de información y la obtención de conclusiones, que hacen posible una gestión rápida y eficaz en la conservación de las aguas del territorio propuesto.

La evaluación de la calidad de aguas por parte de un experto, es un proceso complejo que requiere un conocimiento avanzado sobre las variables que determinan el estado de las mismas, junto con la capacidad de establecer conclusiones a partir de la observación de los parámetros estudiados.

El volumen de información a considerar para el control de calidad en las aguas de un territorio definido, crece exponencialmente a medida que se aumentan las estaciones de muestreo a estudiar, por tanto la eficacia y rendimiento del experto puede verse comprometida y en consecuencia, los resultados del estudio. Adicionalmente, la observación de forma conjunta de resultados del análisis de las estaciones de muestreo de un territorio, puede dar lugar a conclusiones diferentes de las que se obtendrían del estudio individual de cada una de ellas.

La elaboración de un SE que cumpla con los requisitos indicados por el experto, aporta una solución que le permite centrarse en la evaluación de los resultados generados por el sistema, favoreciendo el desempeño eficaz de su tarea, disminuyendo el tiempo que debe emplear para obtener conclusiones y ofreciendo además, unos resultados conjuntos que posibilitan la obtención de conocimiento adicional, extraído a partir de las relaciones existentes entre las diversas estaciones de muestreo involucradas en el estudio.

En el análisis de aguas, la legislación establece los valores límites insuperables y que definen la calidad de un agua. Éstos valores límite no sólo dependen del parámetro a estudiar (por ejemplo Níquel frente a Oxígeno), sino que además, varían de la masa de agua en la que se ha realizado la medida. Así, es de suponer que por ejemplo, los valores considerados como normales de ciertos nutrientes generados por la actividad agrícola y ganadera, sean normales en

las aguas litorales bajo la influencia de los ríos y no sean aceptables en otras regiones sin ésta actividad. La ley por tanto establece consideraciones generales aplicables a todas las aguas litorales para algunos parámetros, y particulares y dependientes de las masas de aguas concretas para otros.

El presente proyecto consiste en la creación de un SE basado en reglas para el análisis de datos químicos y físico-químicos en base a la legislación aplicable y lograr evaluar la calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz. De la ejecución del proyecto, que se detalla en el capítulo dos, y tras el análisis de los datos, resultan 4 informes capaces de evaluar la calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz en base a los parámetros medidos, estaciones de muestreo y demarcaciones hidrográficas.

La calidad se evalúa en base al cumplimiento de la legislación estatal y autonómica en materia de aguas para cada uno de los parámetros medidos y cuyos valores límites permitidos, varían en función de la masa de agua y su situación geográfica.

Puesto que los valores límite de los parámetros que evalúan el estado químico son comunes a todas las aguas litorales, el proyecto presentado puede aplicarse para evaluar el estado químico de todas las aguas del litoral español.

Los valores límite para el resto de los parámetros químicos, físico-químicos y de soporte a los elementos biológicos son específicos a la masa de agua y sólo son aplicables para la vertiente atlántica andaluza. Para extender la aplicación del proyecto para estos parámetros a otras masas de agua distintas a las aquí presentadas, será necesario modificar los límites establecidos en las reglas descritas.

1.2 Objetivos del Trabajo

1.2.1. Objetivo general

Considerando las repercusiones en la salud humana y ambiental que se derivan de una buena calidad del agua, en este trabajo se propone un SE para la evaluación de la calidad de las aguas superficiales litorales de la vertiente atlántica andaluza.

El objetivo es emplear disciplinas de IA para crear un SE basado en reglas, que pueda evaluar la calidad del agua de forma que se consideren todos los datos físico-químicos y sus relaciones, en conjunto y de forma más exhaustiva, rápida y efectiva de la que se deduce del método convencional, ofreciendo una ordenación de las estaciones de muestreo en función del nivel de calidad obtenido en su estudio, con intención de aportar una visión general del conjunto del territorio, que permita tanto agilizar la evaluación del riesgo, como determinar el orden de actuación ante vertidos, medidas preventivas, correctoras o modificación en la frecuencia de las mediciones, sobre los puntos geográficos del litoral atlántico andaluz.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos que conducirán a la consecución del objetivo general son los siguientes:

- Seleccionar la bibliografía pertinente tanto a nivel de desarrollo del proyecto del sistema experto, como la referida a la legislación vigente para aplicar el producto en la evaluación de la calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz.
- Estudiar y evaluar la necesidad del proyecto propuesto. Elaboración del apartado de introducción del TFG.
- Crear base de conocimiento, a partir de la adaptación de la información y razonamiento que realiza el experto para el cálculo de la solución del problema.
- Seleccionar las variables que debe evaluar el SE para la obtención de resultados.
- Crear el conjunto de reglas que aplicará el SE.
- Integrar motor de inferencia de la librería Pyknow.
- Implementar el Sistema Experto. Codificación del programa para lectura de datos, evaluación y presentación de resultados.
- Generar informes de resultados que reflejen el análisis de los datos.
- Validar el Sistema Experto. Consulta de logros adicionales derivados de los informes.

Se presentan los objetivos ordenados en conjuntos de mayor a menor prioridad:

- Crear base de conocimiento. Selección de variables. Conjunto de reglas. Motor de inferencia. Implementar SE.
- Selección de bibliografía. Evaluar la necesidad del proyecto. Validar SE. Estudiar capacidad de evaluación de otros datos.

La integración de disciplinas propias de la IA es cada vez más habitual en áreas como la salud o la industria. Es un objetivo secundario del proyecto, fomentar la aplicación de dichas técnicas para su uso en otras disciplinas donde su utilización no es todavía tan común.

1.3. Enfoque y método seguido

Para el diseño y desarrollo del SE, se contemplan dos posibilidades:

- Adaptar un SE existente:

Se ha investigado acerca de SE codificados en diversos lenguajes y procedentes de otras áreas diferentes a del proyecto, como el sistema CLIPS [28], o sistemas implementados en COBOL, VB, o JAVA.

Entre las opciones valoradas, se considera viable la implementación en JAVA y el uso del sistema CLIPS, quedando los demás sistemas exclusivamente como fuente de consulta puntual.

- Crear un nuevo SE:

Debido al potencial del lenguaje Python, que dispone de un amplio catálogo de librerías disponibles como Pyknow [38], junto con la posibilidad de integrar CLIPS, y su capacidad para el análisis computacional de grandes volúmenes de datos, se elige la opción de implementar un SE nuevo, específico para la temática elegida.

Se considera que esta opción favorece el aprendizaje del autor del TFG, facilita la elaboración del subsistema de lectura de datos, así como la creación de la base de conocimiento y reglas necesarias para la el funcionamiento del sistema.

1.4. Planificación del Trabajo

Los recursos materiales necesarios para realizar el trabajo se dividen entre la fase de elaboración de la memoria y la fase de presentación de la misma. En ambos casos se requiere la conexión a internet y el ordenador. Además, se necesita disponer de la bibliografía obtenida mediante búsquedas en internet y en el temario de las asignaturas ya cursadas del grado de Ingeniería Informática.

Los recursos humanos se clasifican en dos. Por una parte los que proporciona la universidad tras la figura del tutor y del director del TFG que ayudarán a la correcta elaboración del trabajo. Por otro lado, se dispone de una Doctora en Químicas que también es técnico de medio ambiente que asesora al autor del presente TFG en la creación y validación del sistema.

Extraídos de la información de la asignatura, el contenido de cada una de las PECs y de la entrega final, así como los hitos a lograr en cada una de ellas, se resume en la tabla 2.

PEC	Fechas Inicio/ Entrega/ Calif.	Dedición (%)	Contenido	Hitos
0	20/02/19 04/03/19 11/03/19	10	Definición de contenidos: Título y Palabras clave Temática escogida Problemática a resolver Objetivos y Alcance Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"> · Consulta bibliográfica. · Definición de los contenidos del trabajo. · Definición preliminar de los objetivos generales. · Elaboración de documento de entrega parcial.
1	05/03/19 18/03/19 25/03/19	15	Descripción del TFG: Objetivos Planificación Estructura de la memoria del TFG	<ul style="list-style-type: none"> · Consulta bibliográfica. · Definir los objetivos del proyecto. · Establecer temporalización. · Definir riesgos. · Definir enfoque y líneas generales. · Elaboración parcial de la memoria.
2	19/03/19 22/04/19 29/04/19	25	Informe de seguimiento del proyecto 1	<ul style="list-style-type: none"> · Consulta bibliográfica. · Elaboración de base de conocimiento. · Elaboración preliminar del conjunto de reglas. · Selección del motor de inferencia. · Actualización de riesgos. · Evaluación preliminar de la capacidad de aplicación del producto. · Realizar informe de seguimiento. · Continuar con la elaboración parcial de la memoria.
3	23/04/19 20/05/19 31/05/19	25	Informe de seguimiento del proyecto 2	<ul style="list-style-type: none"> · Consulta bibliográfica. · Elaboración del conjunto de reglas. · Implementar SE. · Generación de informes de resultados de la ejecución del programa. · Estudio preliminar de la validación del SE. · Evaluar capacidad de aplicación del producto. · Actualización de riesgos. · Realizar informe de seguimiento. · Continuar con la elaboración parcial de la memoria.
4	21/05/19 04/06/19 11/06/19	15	Entrega de la Memoria del Trabajo final	<ul style="list-style-type: none"> · Consulta bibliográfica. · Completar la validación del SE · Actualización de riesgos. · Elaboración de la memoria final TFG. · Entrega del código de la aplicación del proyecto.
5a	05/06/19 12/06/19 17/06/19	5	Elaboración de la presentación	<ul style="list-style-type: none"> · Determinar los aspectos más relevantes del proyecto. · Elaboración de la presentación y locución para la defensa del TFG.
5b	13/06/19 24/06/19 01/07/19	5	Entrega Final e Informe de Autoevaluación	<ul style="list-style-type: none"> · Elaboración de documento de entrega final. · Informe de autoevaluación: Actividad de evaluación relacionada con las competencias transversales del Grado. Evaluar el uso competencias en el trabajo final.

Tabla 2. Planificación.

Se propone el siguiente diagrama dónde se plantea la planificación del trabajo con hitos y su temporalización (Tabla 3). Los tiempos de ejecución y su planificación, se estiman acorde con las entregas parciales y los recursos disponibles.

Análisis de riesgos inicial: Debido a que el TFG se encuentra en los estados iniciales, la planificación propuesta es susceptible a cambios en los tiempos de ejecución o en su detalle conforme se avance en el desarrollo del trabajo. Por ello se realizará un seguimiento de la misma tras cada una de las entregas parciales, para buscar posibles desviaciones y soluciones para así adaptar la planificación aquí presentada a la final y lograr los objetivos propuestos. Se

prevén desviaciones de la planificación respecto al capítulo de desarrollo del producto por las posibles dificultades que puedan surgir.

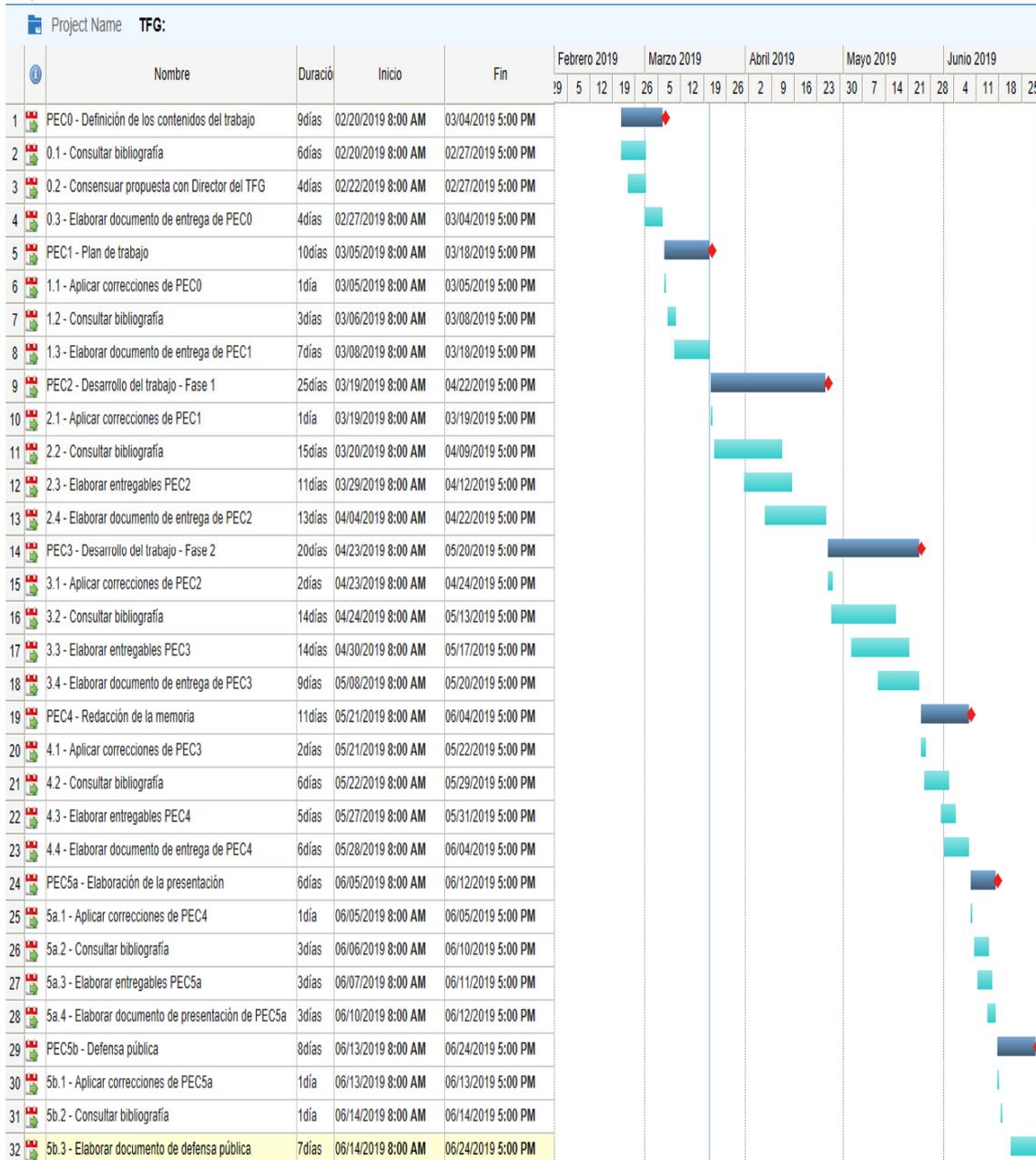


Tabla 3. Planificación. Diagrama de Gantt.

1.5. Breve descripción del producto obtenido

El producto obtenido es una aplicación denominada SeaQ que permite evaluar la calidad de las aguas del litoral de la vertiente atlántica andaluza. A partir de los datos de las medidas de los distintos parámetros físico-químicos *in situ* y los valores límite de éstos que determinan la calidad del agua según establece la legislación vigente, se evalúa el estado químico y físico-químico de las aguas

del litoral aplicando inteligencia artificial. La implementación del Sistema Experto se ha realizado en código Python, los datos de entrada al sistema se proporcionarán en un fichero Excel, y los informes de salida se generan en formato texto.

Del análisis de los datos se obtienen cuatro informes:

Informe 1: Informe de evaluación de cada parámetro en cada estación de manera individual.
Archivo seaQ_RA.txt.

Informe 2: Informe de evaluación de calidad de las estaciones.
Archivo seaQ_Informe_puntos.txt.

Informe 3: Informe de evaluación ordenada de calidad de las estaciones.
Archivo seaQ_Informe_medias.txt

Informe 4: Informe de calidad por demarcación hidrográfica.
Archivo seaQ_Informe_demarc.txt

El producto presentado permite estudiar y considerar un gran número de datos y variables y obtener información adicional a la que se lograría con el método convencional. Se obtienen los resultados de la calidad del agua a nivel global y/o particular y adicionalmente, se pueden extraer otras conclusiones que influyen en el seguimiento de la calidad ambiental como el nivel de contaminantes o estudiar la necesidad de implantar medidas preventivas o correctoras.

El método presentado puede reproducirse para ser aplicado al control de calidad de otras aguas u otros productos, siempre que se modifiquen los valores límite que indica la legislación y que son específicos para cada masa de agua concreta o producto concreto.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

La aplicación de un sistema experto al control de calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz se desarrolla en el presente trabajo a lo largo de los capítulos que se describen a continuación.

El capítulo de introducción se compone de varios subapartados ya descritos. En el primero se ha expuesto el contexto y la justificación del trabajo en base a la metodología presentada de sistemas expertos y a la necesidad de la aplicación desarrollada en el control de calidad del agua. Posteriormente se ha aclarado la problemática a resolver y el alcance del proyecto. A continuación se han presentado los objetivos generales y específicos a lograr en la realización del trabajo. De forma breve se ha indicado el enfoque y el método seguido y se ha expuesto la planificación del trabajo. La introducción termina con una breve descripción del producto obtenido y el presente apartado.

En el capítulo dos se desarrolla el grueso del trabajo y se compone a su vez de distintos subapartados. Primero se trata la elección de variables, para concretar los valores límite y su relación con los datos disponibles. Después se procede a crear la base de conocimiento, seguido del conjunto de reglas necesarias para aplicarlas a continuación en el motor de inferencia. En el siguiente subapartado se expone la codificación del sistema experto para finalmente validarlo.

Las conclusiones de la metodología seguida para el desarrollo del producto así como las limitaciones del trabajo y las perspectivas se exponen en el capítulo tercero.

El glosario de los términos más usados en el trabajo se presenta en el capítulo cuarto, antes de la bibliografía utilizada en el capítulo cinco. Finalmente, en el anexo se expone la información complementaria, necesaria para la elaboración del trabajo pero prescindible para la comprensión del mismo.

2. Metodología y desarrollo del producto

2.1. Selección de variables

2.1.1. Introducción

Para elegir las variables que permitan la evaluación del estado químico de las aguas superficiales del litoral atlántico andaluz, se debe realizar un estudio previo que relacione los datos disponibles con la legislación aplicable.

Los datos, extraídos de la web de la Agencia andaluza de medio ambiente y agua [25] y que se corresponden con los resultados de las medidas de distintos parámetros químicos y físico-químicos, se emplean para evaluar la calidad del agua en función de las normas de calidad ambiental (NCA) [24].

Las NCA, que dependen de la tipología de la masa de agua (tabla 4), se establecen por el Real Decreto 817/2015 y se refieren a la concentración máxima de cada uno de los contaminantes que no se debe superar para mantener la salud humana y del medio ambiente [24]. Para evaluar algunos de los datos disponibles, además de las NCA, ha sido necesario recurrir a legislación adicional en materia de vertidos (Orden de 14 de febrero de 1997 y Decreto 109/2015, de 17 de marzo), tal y como se mostrará en la tabla 5 [29,30].

La calidad de una masa de agua se define por sus valores ecológicos y químicos que se dividen en elementos biológicos, químicos e hidromorfológicos en ese orden de importancia. Puesto que no se tienen los datos para el estudio completo del estado ecológico, se estudiará su estado químico (asociado a sustancias peligrosas y prioritarias) y además, los denominados elementos de calidad químicos y físico-químicos de soporte a los elementos de calidad biológicos. Éstos últimos se corresponden con la evaluación de algunas condiciones generales como la oxigenación, nutrientes, turbidez, acidez y contaminantes específicos (tabla 5) [24, 29,30].

2.1.2. Determinar la tipología de la estación

Las aguas superficiales litorales de la vertiente atlántica se componen de cuatro demarcaciones hidrográficas con un total de 53 estaciones de muestreo (EM) repartidas por la geografía [25]. Cada estación o estaciones de muestreo se clasifican en función de si éstas masas de aguas superficiales del litoral son de transición (AT), costeras (AC) o están bajo la influencia de puertos (AMP) y éstas a su vez se clasifican en subtipos (AT-T12, AT-T13, AC-T20, etc.) dependiendo de sus características particulares (Tabla 4).

Para establecer la correspondencia de los datos con la legislación, en la tabla se indica la tipología de la estación correspondiente a cada masa de agua y si ésta es limitada (de escasa renovación; ríos, desembocaduras, estuarios,

bahías cerradas) o normal (resto de aguas litorales y las que delimita la legislación (Tabla 4 y Tabla 8 del anexo) [24,29,30].

Demarcación hidrográfica	Masa de Agua	Tipología de la estación	Limitada o Normal
Guadalquivir	Brazo del Este	AT-T12	L
	Cortas de la Isleta, Merlina, Punta del Verde y Vega de Triana.	AT-T12	L
	Cortas de los Jerónimos, los Olivillos y Fernandina	AT-T12	L
	Dársena Alfonso XII	AT-T12	L
	Desembocadura Guadalquivir-Bonanza	AT-T12	L
	Doñana-Matalascañas	AC-T15/18	L
	Parque Nacional de Doñana	AC-T15/18	L
	Encauzamiento del Guadaira	AT-T12	L
	Guadamar y Brazo del Oeste	AT-T12	L
	La Esparraguera-Tarfia	AT-T12	L
	La Mata-La Horcada	AT-T12	L
	Marismas de Bonanza	AT-T12	L
Pluma del Guadalquivir	AC-T15/18	L	
Guadalete y Barbate	Ámbito de la Desembocadura del Guadalete	AMP-T04	L
	Base Naval de Rota	AMP-T04	L
	Curso fluvial del Guadalete 1	AT-T12	L
	Curso fluvial del Guadalete 2 (y el Portal)	AT-T12	L
	Desembocadura del Guadalete 1 (Puerto de Santa María)	AT-T12	L
	Desembocadura del Guadalete 2	AT-T12	L
	Frente a San Fernando-Cabo de Trafalgar	AC-T13	L
	Límite de las Marismas de Barbate-Cabo de Gracia	AC-T20	L
	Marismas de Barbate 1 (Barbate)	AT-T12	L
	Marismas de Barbate 2	AT-T12	L
	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	AT-T12	L
	Marismas de Cádiz y San Fernando	AT-T12	L
	Marismas del Río San Pedro	AT-T12	L
	Puerto de Cádiz-Bahía interna de Cádiz	AMP-T04	L
Puerto de Santa María (desembocadura Guadalete)	AT-T12	L	
Puerto de Tarifa	AMP-T04	N	
Guadiana	Desembocadura Guadiana (Ayamonte)	AT-T12	L
	Marismas de Isla Cristina	AT-T12	L
	Pluma del Guadiana	AC-T15/18	L
Tinto, Odiel y Piedras	Canal del Padre Santo 1	AMP-T01	N
	Canal del Padre Santo 2 (Marismas del Odiel-punta de la Canaleta)	AT-T12	L
	Cartaya- Puerto de el Terrón	AT-T12	L
	Embalse de los Machos- Cartaya	AT-T12	L
	Marismas del Odiel	AT-T13	L
	Mazagón-Límite demarcación Tinto-Odiel/Guadalquivir	AC-T13	L
	Punta Umbría- 1500 m antes del espigón de Huelva	AMP-T04	L
	1500 m antes de la punta del espigón de Huelva-Mazagón	AMP-T04	L
	Río Tinto 1 (Palos de la Frontera)	AT-T13	L
	Río Tinto 2 (Moguer)	AT-T13	L
	Río Tinto 3 (San Juan del Puerto)	AT-T13	L
	Río Odiel 1 (Gibraleón)	AT-T13	L
Río Odiel 2 (Puerto de Huelva)	AMP-T01	L	

Tabla 4. Tipologías de las masas de agua.

Tabla para la correspondencia de los datos disponibles con la legislación vigente [24,25,28,29,30]. Elaboración propia según los datos extraídos de la web de la Demarcación

Hidrográfica del Guadalete-Barbate [31], Tinto, Odiel y Piedras [32], Guadiana [33], Puertos [34], confederación hidrográfica del Guadalquivir [35,36], la Red de información ambiental y la Consejería de medio ambiente [37].

Donde: EM: estación de muestreo. L: Limitada. N: Normal. AT: Aguas de Transición dónde AT-T12: Estuario atlántico mesomareal con descargas irregulares de río y AT-T13: Estuario Tinto-Odiel. AC: Aguas Costeras dónde AC-T13: Golfo de Cádiz, AC-T15/18: Aguas costeras atlánticas expuestas o semi-expuestas con afloramiento medio o intenso, protegidas y no. AC-T20: Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas. AMP: Puertos dónde AMP-T01: Aguas de transición atlánticas de renovación baja. AMP-T04: Puertos. Aguas costeras atlánticas de renovación alta.

2.1.3. Normas de calidad ambiental del agua

Para evaluar el estado químico de las aguas superficiales del litoral de la vertiente atlántica andaluza, se deben comparar los datos de las mediciones *in situ* extraídos de la web de la agencia andaluza de medio ambiente y agua, con las condiciones que establece la legislación vigente (Tabla 5).

C ol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fil .	Parámetro	U	AT-T12	AT-T13	AC-T13	AC-T20	AMP-T01	AMP-T04	NCA-CMA	NCA-MA	VPV
1	Níquel	µg/l							NA [34]	20 [8,6]	720
2	Plomo	µg/l							NA [14]	7,2 [1,3]	260
3	Clorpirifós (etilo)	µg /l							0,1	0,03	1,2
4	Diurón	µg/l							1,8	0,2	3,6
5	Cadmio	µg/l							0,6	0,2	14
6	Mercurio	µg/l							0,07	-	2,4
7	Ftalato de di(2-etilhexilo)	µg/l							NA	1,3	36
8	Benzo[g,h,i]perileno	µg/l							NA [0,00082]	Σ = 0,002	1,08
9	Indeno[1,2,3-c,d]pireno	µg/l							NA	0,002	0,072
10	Tributilestaño	µg/l							0,0015	0,0002	0,0072
11	Endosulfan suma máxima	µg/l							0,004	0,0005	0,036
12	BDE-100	µg/l									7
13	Cobre	µg/l								25	900
14	Cinc	µg/l								60	1800
15	Terbutilazina	µg/l								1	36
16	HT MPE	mg/l						0,3			
17	HT LBSM	mg/l						1			
18	HT LV	mg/l									25
19	NTK MPE	mg/K g sed					300	300			
20	NTK LBSM	mg/K g sed					2100	2100			
21	NTK LMD	mg/K g sed					3600	3600			
22	PT MPE	mg/K g sed					200	200			
23	PT LBSM	mg/K g sed					800	800			
24	PT LMD	mg/K g sed					1200	1200			

C ol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fi l .	Parámetro	U	AT-T12	AT-T13	AC-T13	AC-T20	AMP-T01	AMP-T04	NCA-CMA	NCA-MA	VPV
25	COT. MPE	% sed					6	6			
26	COT LBSM	% sed					40	40			
27	COT LMD	% sed					58	58			
28	OD CR	%						90			
29	OD LBSM	%						40			
30	OD LV	%									VIL:60 VIN:70
31	Nitratos LBM	mg/l	11	7,42	0,38 006	0,37 82					
32	Nitratos LV	mg/l									150
33	Nitritos LBM	mg/l	0,18	0,11	0,02 99	0,03 082					
34	Nitritos LV	mg/l									60
35	Nitrógeno Total	mg/l									150
36	Amonio LBM	mg/l	0,29	0,15	0,07 002	0,06 606					
37	Amonio LV	mg/l									100
38	Fosfatos LBM	mg/l	0,34	0,83	0,06 11	0,06 11					
39	Fosfatos LV	mg/l									180
40	Turbidez CR	NTU						2			
41	Turbidez LBSM	NTU						9			
42	Turbidez LV	NTU									250
43	pH										5.5- 9.5

Tabla 5. Tabla Completa NCA y Vertidos

Referencias: Columnas 1 al 8: anexo II del RD 817/ 2015 [24]. Columnas 9 y 10: Anexos IV, V y VI del RD 817/ 2015 [24]. Columna11: Valores para vertidos según el Boja 97 (Orden de 14 de febrero de 1997) que diferencia entre aguas normales y limitadas y Boja 2015 (Decreto 109/2015, de 17 de marzo) éste último se corresponde con el valor límite puntual de vertidos.[29,30].

Dónde: U: Unidad de medida. AT: Aguas de Transición dónde AT-T12: Estuario atlántico mesomareal con descargas irregulares de río y AT-T13: Estuario Tinto-Odiel. AC: Aguas Costeras dónde AC-T13: Golfo de Cádiz, AC-T15/18: Aguas costeras atlánticas expuestas o semi-expuestas con afloramiento medio o intenso, protegidas y no (No se muestra porque las NCA no fijan límites específicos para éstas). AC-T20: Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas. AMP: Puertos dónde AMP-T01: Aguas de transición atlánticas de renovación baja. AMP-T04: Puertos. Aguas costeras atlánticas de renovación alta.

CR: Condición de Referencia. MPE: Máximo Potencial ecológico. NCA-CMA: Concentración Máxima Admisible ($\mu\text{g/L}$). NCA-MA: Media Anual ($\mu\text{g/L}$). VIL: valor imperativo para vertidos en aguas litorales limitadas VIN: valor imperativo para vertidos en aguas litorales normales. VPV: valor límite puntual de vertidos.

Valores límite: bueno o superior/moderado (LBSM), bueno/moderado (LBM), moderado/Deficiente (LMD), o límite de vertidos (LV).

Sed.: Sedimento. NA: No aplicable.

COT: Carbono orgánico total. HT: hidrocarburos totales en superficie. NKT: Nitrógeno Kjeldahl.

PT: Fósforo total. OD: Oxígeno disuelto.

Notas: Las NCA entre corchetes: con efecto a partir del 22 de diciembre de 2018, a más tardar el 22 de diciembre de 2027. Los valores que no aparecen son porque no aplican en las NCA para esa masa de agua en concreto. Para el Cadmio y sus compuestos, los valores de las NCA dependen de la dureza del agua. Se han cambiado unidades para estar acorde con dma en: COT de % a g/kg. Nitratos, Nitritos, Amonio, y Fosfatos de $\mu\text{mol/l}$ a mg/l, el LBM para AC-T13 y AC-T20.

Para determinar los valores límite de cada uno de los datos suministrados que se corresponden con los distintos parámetros físico-químicos, se ha recurrido en primera instancia a la legislación indicada por Real Decreto 817/2015 (columnas 3 al 10, tabla 5) [24]. Considerando que para algunos de los datos, la legislación anterior no establece valores límites, ha sido necesario recurrir a la legislación más restrictiva encontrada en materia de vertidos (columna 11) para poder ser evaluados como valores insuperables (Orden de 14 de febrero de 1997 y Decreto 109/2015, de 17 de marzo (tabla 5) [28, 29,30].

Los elementos de calidad químicos y físico-químicos de soporte a los elementos de calidad biológicos se evalúan por los 12 parámetros mostrados en las filas del 16 al 43. Entre ellas se estudian las condiciones generales de contaminantes específicos (filas 16 a 27), oxigenación (filas 28 a 30), nutrientes (filas 31 a 39), turbidez (filas 40 a 42) y acidez (fila 43). En este caso, los valores límite se deben buscar sucesivamente de las columnas de la 3 a la 11 (Tabla 5).

Se debe incidir además, que se requiere conocer la tipología de la masa de agua y si es normal o limitada para cada estación de muestreo empleando la tabla 4, para así determinar qué columna utilizar.

En la tabla se muestran los parámetros con sus valores límites correspondientes a los datos que han sido medidos en alguna de las 53 estaciones de muestreo que comprenden la vertiente atlántica andaluza (Tabla 5). Para consultar el resto de parámetros de los que no se tienen datos porque no han sido medidos, pero que se contemplan en la legislación, ver la tabla 9 del anexo

2.1.4. Proceso de valoración de datos

Considerando la legislación y los datos disponibles, se evalúa el estado químico completo correspondiente a las sustancias clasificadas como peligrosas y prioritarias. Adicionalmente se evalúan los contaminantes específicos y otras condiciones generales que implican parámetros físico-químicos (Tabla 5).

El proceso para la valoración de un dato sigue el orden que se deduce de la tabla 5 y que se representa en la Ilustración siguiente (Ilustración 2). Al evaluar un dato, la legislación puede establecer un valor límite para algunos parámetros y para otros no. En el diagrama se muestra el proceso de análisis considerando que el dato objeto de estudio puede cumplir, no cumplir, o bien no aplicar para ese límite en concreto, y en éste último caso el proceso de análisis debe continuar conforme se indica en la ilustración. El proceso valorará finalmente si el dato cumple o no cumple las NCA, y si su valor es muy bueno, bueno, moderado, aceptable, deficiente, malo o no aceptable.

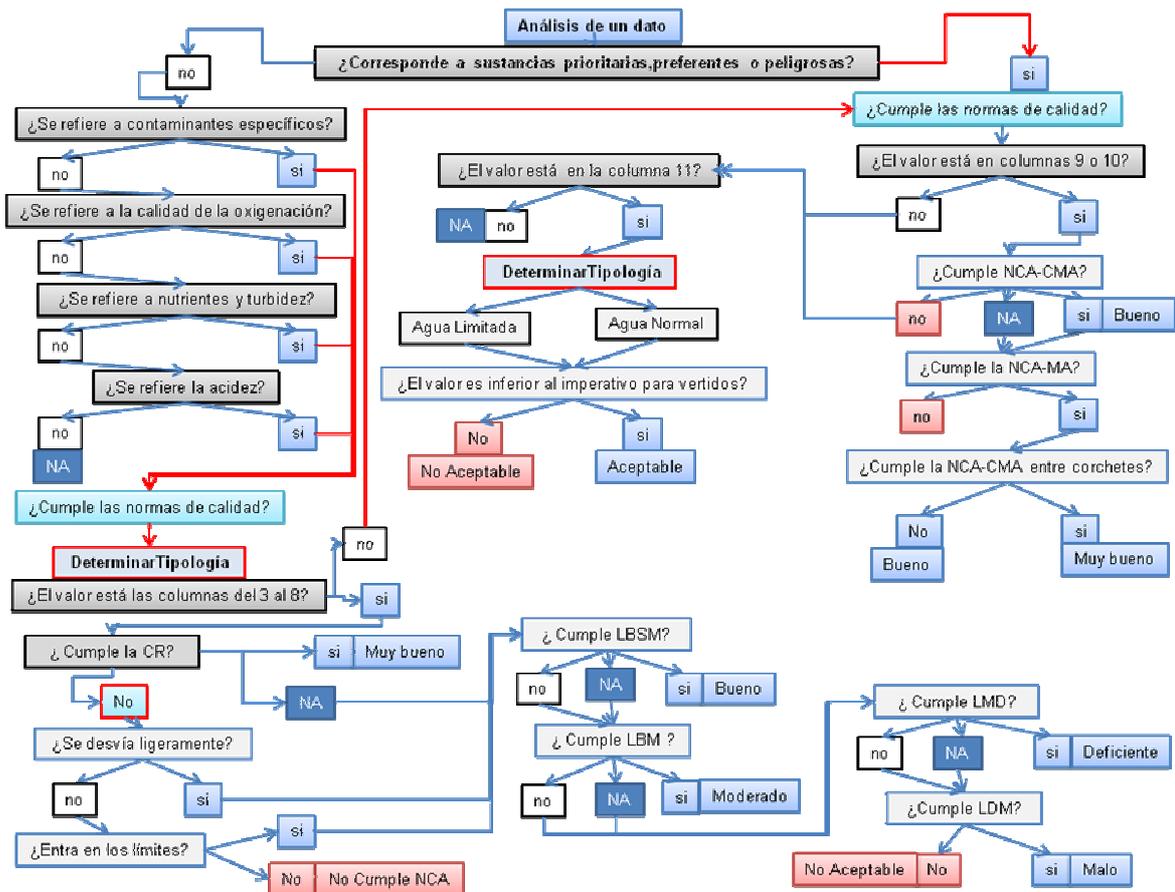


Ilustración 2. Proceso de análisis de un dato.

Elaboración propia [24,29,30].

Donde: CR: Condición de referencia. LBSM: Límite superior/moderado. LBM: Límite bueno/moderado. LMD: Límite moderado/Deficiente. NA: No aplica. NCA: Norma de Calidad. NCA-CMA: Concentración Máxima Admisible. NCA-MA: Media Anual.

Para establecer un recorrido del análisis de un dato se debe seguir el siguiente proceso:

1º) Determinar para la estación de muestreo de la que se ha extraído ese dato, a qué tipo de masa de agua corresponde (Tabla 4).

Conocida la tipología de la estación, se busca el valor límite en la tabla 5:

2ª) Búsqueda de valor límite en una y sólo una de las columnas del 3 al 8 de la tabla 5. [24].

3º) Si el valor límite no se encuentra ahí se recurre a las siguientes columnas 9 y 10 de la tabla 5 por este orden. Estos valores límite son comunes a todas las masas de agua, es decir a todas las estaciones de muestreo. [24].

4º) Si aún no hay valor límite, se debe recurrir a los valores límite en materia de vertidos. Para ello se debe determinar primero si la masa de agua es limitada o normal (Tabla 4 y Tabla 8 del anexo). [29, 30].

Éste es el proceso de análisis para un sólo dato que realizaría un experto humano y que se ha empleado en la base de conocimiento del presente proyecto. El análisis hecho para un dato, debe repetirse para analizar todos los datos para una estación de muestreo dada y evaluarlos conforme a la legislación específica para cada parámetro y que a su vez puede ser dependiente de la tipología de la masa de agua en la que se encuentre la estación. Estudiar la calidad de las aguas de la vertiente atlántica andaluza en base al estado químico y físico-químico, implica evaluar 4 demarcaciones hidrográficas distintas, compuestas por 53 estaciones de muestreo con distintas tipologías, que contienen aproximadamente 2000 datos correspondientes a 33 parámetros con sus particularidades legislativas.

2.2. Base de conocimiento, conjunto de reglas

2.2.1. Introducción

Para la creación del conjunto de reglas que definen el conocimiento que utiliza el SE, se ha creado una clase que las contiene, y que debe ser una subclase de knowledgeEngine. Ésta actúa como motor de inferencia del sistema, utilizando las reglas definidas, una agenda que mantiene un listado de las reglas y la lista de hechos que hay que analizar para la obtención de los resultados. El planteamiento es similar al del motor de inferencia desarrollado en CLIPS [28].

Se han definido 321 reglas correspondientes a 33 parámetros que contemplan las particularidades que establece la legislación para las distintas masas de agua del litoral atlántico andaluz.

En las reglas se ha establecido además, una puntuación del cero a cuatro para cada uno de los parámetros en función del cumplimiento de la legislación.

Las estructuras de las reglas han variado conforme a las características particulares para cada uno de los parámetros, que a su vez, dependen de la masa de agua de la estación de muestreo concreta.

Se describen a continuación las 5 estructuras de reglas empleadas en el programa:

Tipo 1: Tipo “Hidrocarburos totales” (tres límites para un tipo de masa de agua, y un límite para todas las demás.)

Tipo 2: Tipo “Níquel” (Cuatro límites comunes para todas las masas de agua)

Tipo 3: Tipo “Carbono orgánico total” (Tres límites comunes para dos tipos de masas de agua)

Tipo 4: Tipo “Oxígeno disuelto” (Tres límites para un tipo de masa de agua, siendo uno de ellos variable y un límite común también variable para el resto)

Tipo 5: Tipo “Amonio” (Dos límites distintos para cuatro tipos de masas de agua y un límite común para el resto)

A partir de estas reglas descritas, se deducen el resto de reglas empleadas en el programa. A partir de la Tipo 1 por ejemplo se derivan otras más sencillas como la de tipo “pH”, que contempla un sólo límite común para todas las estaciones.

Las reglas se forman a partir de un componente de lado izquierdo (LHS), que describe las condiciones bajo las que se debe producir la activación de la regla, y otro componente de lado derecho (RHS), que representa el conjunto de acciones a realizarse en caso de que la regla haya sido activada.

```
@Rule(Fact(“componente de lado izquierdo(LHS) ”)
def alert (self):
    (“componente de lado derecho(RHS) ”)
```

La construcción del lado LHS permite el uso de operadores lógicos (OR,AND,NOT), que posibilitan la construcción de condiciones complejas, y de restricciones de campo (W: Para cualquier valor , P: Para valor filtrado, L: Para valor exacto al proporcionado).

A continuación se muestran las reglas para representar el conocimiento de una de las variables que maneja el SE.

2.2.2. Conjunto de reglas Tipo 1

Conjunto de reglas para la variable “Hidrocarburos_Totales” (Hidrocarburos totales, mg/l), filas 14 a 16 de la Tabla 5. La legislación establece tres límites: El máximo potencial ecológico(MPE; 0,3), el límite bueno superior moderado (LBSM; 1) y el límite de vertidos (LV; 20).

Se establecen reglas que diferencian por la tipología de la estación, y dentro de cada tipología, se evalúan los parámetros conforme al valor lambda. Así, la regla siguiente se activa cuando el valor del parámetro de Hidrocarburos totales es menor o igual que el límite (MPE;0,3). En caso de activación de la regla, el sistema registra su puntuación correspondiente mediante la llamada a la función sumaPuntos(estación, valor). Los textos correspondientes a los mensajes que genera el sistema, se han parametrizado mediante variables definidas en el módulo auxiliar de la aplicación SeaQ.

Las siguientes reglas se activan para los diferentes intervalos (LBSM;1) y (LV;20), generando su valoración correspondiente.

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: 0<= p <= 0.3),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AMP-T04'))
def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T04_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***")
```

```

\nAMP_T04\n"+aux.max_pot_eco+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: 0.3 < p <= 1),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T04_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAMP_T04\n"+aux.no_max_pot_eco+", "+aux.limBSM+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 3"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: 1 < p <= 25 ),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T04_3 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAMP_T04\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p >25 ),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T04_4 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAMP_T04\n"+aux.no_lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

Para el resto de las estaciones, en las que según su tipología, no se legisla sobre NCA, se establecen los intervalos conforme al cumplimiento del límite legal de vertidos y se aplican las reglas siguientes. En estos casos, el hecho de que no se aplique la legislación anterior, no debe penalizar a la estación evaluada.

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p >25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T01_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***

```

```

\nAMP_T01\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+" \n")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAMP_T01_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAMP_T01\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+" \n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p >25),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T20_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAC_T20\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+" \n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T20_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAC_T20\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+" \n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p >25),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T13'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T13_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAC_T13\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"

```

```

+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T13'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T13_2 (self):
        aux.texto.write("\\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\\nAC_T13\\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\\nEstación:\\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p >25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAT_T13_1 (self):
        aux.texto.write("\\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\\nAT_T13\\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\\nEstación:\\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAT_T13_2 (self):
        aux.texto.write("\\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\\nAT_T13\\n"
+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p >25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AT-T12'))
    def alertaHidrocarburos_TotalesAT_T12_1 (self):
        aux.texto.write("\\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\\nAT-T12\\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma
+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',
R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T12'))
def alertaHidrocarburos_TotalesAT_T12_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAT-T12\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma
+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p >25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AC-T15/18'))
def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T15_18_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAC_T15/18\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Hidrocarburos_Totales',R_Value=pk.P(lambda p: p <=25),
R_Type=pk.MATCH.R_Type,R_Tipo='AC-T15/18'))
def alertaHidrocarburos_TotalesAC_T15_18_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Hidrocarburos_Totales***
\nAC_T15/18\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

2.2.3. Conjunto de reglas Tipo 2

Se muestra a continuación el conjunto de reglas de tipo 2, para el parámetro Níquel.

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Niquel_Disuelto',
R_Value=pk.P(lambda p: 0 <= p <=8.6),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo=pk.MATCH.R_Tipo))
def alertaNiquel_Disuelto_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Níquel Disuelto***\n"
+aux.nca_cma+"."+aux.v_inf_ma_2027+".\n"+aux.v_inf_ma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Niquel_Disuelto',
R_Value=pk.P(lambda p: 8.6 < p < 20),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo=pk.MATCH.R_Tipo))
def alertaNiquel_Disuelto_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Níquel Disuelto***\n"
+aux.nca_cma+",""+aux.v_inf_ma+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 3"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Niquel_Disuelto',
R_Value=pk.P(lambda p: 20 <= p <=34),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo=pk.MATCH.R_Tipo))
def alertaNiquel_Disuelto_3 (self):
    aux.texto.write("***Regla activada: Níquel Disuelto***\n"
+aux.nca_cma+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Niquel_Disuelto',
R_Value=pk.P(lambda p: 34 < p <=720),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo=pk.MATCH.R_Tipo))
def alertaNiquel_Disuelto_4 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Níquel Disuelto***\n"
+aux.nca_cma+",""+aux.v_sup_ma+",\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 1"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 1)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Niquel_Disuelto',
R_Value=pk.P(lambda p: 720 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo=pk.MATCH.R_Tipo))
def alertaNiquel_Disuelto_5 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Níquel Disuelto***\n"
+aux.no_nca_cma+",""+aux.no_lim_Vert+",\n"+aux.v_sup_ma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

2.2.4. Conjunto de reglas Tipo 3

Se muestra el conjunto de reglas de tipo 3, para el Carbono orgánico total.

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 6),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
```

```

R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T01_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_T01\n"+aux.max_pot_eco+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 6 < p <= 40),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T01_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_TO1\n"+aux.limBSM+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 3"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 40 < p <= 58),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T01_3 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_TO1\n"+aux.lmd+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 58 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T01_4 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_TO1\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 1"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 1)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 6),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T04_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada:
Carbono_Organico_Total***\nAMP_T04\n"
+aux.max_pot_eco+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"

```

```

+"Puntuación obtenida: 4"+"
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 6 < p <= 40),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T04_2 (self):
aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_T04\n"+aux.limBSM+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 3"+"
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 40 < p <= 58),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T04_3 (self):
aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_T01\n"+aux.lmd+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Carbono_Organico_Total_(COT)',
R_Value=pk.P(lambda p: 58 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
def alertaCarbono_Organico_TotalAMP_T04_4 (self):
aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Carbono_Organico_Total***
\nAMP_T01\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 1"+"
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 1)

```

2.2.5. Conjunto de reglas Tipo 4

El conjunto de reglas de tipo 4 se expone a continuación para el parámetro Oxígeno disuelto.

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 90),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T04'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_1_L (self):
aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAMP_T04\n"+aux.cond_ref+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"

```

```
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: 60 <= p < 90),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_2_L (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 3"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: 40 <= p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_3_L (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.limBSM+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 1"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 1)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p < 40),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_4_L (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.no_lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 0"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 90),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_1_N (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.cond_ref+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+ "\n"+  
Puntuación obtenida: 4"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: 70 <= p < 90),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_2_N (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 3"+"")
```

```
aux.sumaPuntos(rules_station_name, 3)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: 40 <= p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_3_N (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.limBSM+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 1"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 1)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p < 40),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T04'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T04_4_N (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T04\n"+aux.no_lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 0"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T01'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T01_L_1 (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T01\nL\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"+  
rules_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 0"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p >=60),R_Type='L',R_Tipo='AMP-T01'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T01_L_2 (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***  
\nAMP_T01\nL\n"+aux.lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"+rule  
s_station_name)  
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"  
+"Puntuación obtenida: 4"+"")  
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,  
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',  
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T01'))  
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T01_N_1 (self):  
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
```

```

\nAMP_T01\nN\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"+
rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=70),R_Type='N',R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAMP_T01_N_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAMP-T01\nN\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T20_L_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T20\nL\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T20_L_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T20\nL\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T20_N_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T20\nN\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T20'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T20_N_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC-T20\nN\n"+aux.lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T13'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T13_L_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T13\nL\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T13'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T13_L_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T13\nL\n"+aux.lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T13'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T13_N_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T13\nN\n"+aux.no_lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T13'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T13_N_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC-T13\nN\n"+aux.lim_Vert+", "+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"

```

```
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T13_L_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT_T13\nL\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=60),R_Type='L',R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T13_L_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT_T13\nL\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T13_N_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT_T13\nN\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >=70),R_Type='N',R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T13_N_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT-T13\nN\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AT-T12'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T12_L_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada:
Oxigeno_Disuelto_Superficie***\nAT_T12\nL\n"
+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 60),R_Type='L',R_Tipo='AT-T12'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T12_L_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT_T12\nL\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AT-T12'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T12_N_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT_T12\nN\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 70),R_Type='N',R_Tipo='AT-T12'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAT_T12_N_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAT-T12\nN\n"+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T15/18'))
def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T15_18_L_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***

```

```

\nAC_T15_18\nL\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 60),R_Type='L',R_Tipo='AC-T15/18'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T15_18_L_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada:
Oxigeno_Disuelto_Superficie***\nAC_T15_18\nL\n"
+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p < 70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T15/18'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T15_18_N_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T15_18\nN\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,
R_Name='Oxigeno_Disuelto_Superficie',
R_Value=pk.P(lambda p: p >= 70),R_Type='N',R_Tipo='AC-T15/18'))
    def alertaOxigeno_Disuelto_SuperficieAC_T15_18_N_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Oxigeno_Disuelto_Superficie***
\nAC_T15_18\nN\n"+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

Para los valores de los parámetros de Oxígeno disuelto se toman muestras en superficie, en fondo, in_situ y secchi, por lo tanto, se establecen reglas similares a las de Oxígeno disuelto en superficie, para los siguientes parámetros:

```

RuleName='Oxigeno_Disuelto_Fondo'
RuleName='Oxigeno_Disuelto_Secchi'
RuleName='Oxigeno_Disuelto_(in_situ)'

```

2.2.6. Conjunto de reglas Tipo 5

El conjunto de reglas de tipo 5, presenta para el Amonio.

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 0.29),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T12'))
def alertaAmonioAT_T12_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\nAT_T12\n"
+aux.lbm+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 >= p > 0.29),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T12'))
def alertaAmonioAT_T12_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\nAT_T12\n"
+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T12'))
def alertaAmonioAT_T12_3 (self):
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\nAT_T12\n"
+aux.no_lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 0.15),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T13'))
def alertaAmonioAT_T13_1 (self):
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\nAT_T13\n"
+aux.lbm+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 >= p > 0.15),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T13'))
def alertaAmonioAT_T13_2 (self):
    aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\nAT_T13\n"
+aux.lim_Vert+"\nEstación:\n"+rules_station_name)
```

```

    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"\\n")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AT-T13'))
    def alertaAmonioAT_T13_3 (self):
        aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\\nAT_T13\\n"
+aux.no_lim_Vert+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 0.07002),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T13'))
    def alertaAmonioAC_T13_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\\nAC_T13\\n"
+aux.lbm+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 >= p > 0.07002),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T13'))
    def alertaAmonioAC_T13_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\\nAC_T13\\n"
+aux.lim_Vert+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T13'))
    def alertaAmonioAC_T13_3 (self):
        aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\\nAC_T13\\n"
+aux.no_lim_Vert+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 0.06606),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaAmonioAC_T20_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"****Regla activada: Amonio****\\nAC_T20\\n"
+aux.lbm+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)

```

```

    aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"\\n")
    aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 >= p > 0.06606),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaAmonioAC_T20_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\\nAC_T20\\n"
+aux.lim_Vert+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 2"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 2)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: 100 < p),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC-T20'))
    def alertaAmonioAC_T20_3 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\\nAC_T20\\n"
+aux.no_lim_Vert+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

Para el resto de las estaciones, los valores son comunes, ya que se evalúa el cumplimiento del límite de vertidos, pero no se legisla sobre NCA. En estos casos las puntuaciones oscilan entre cero y cuatro.

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC_T15/18'))
    def alertaAmonioAC_T15_18_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\\nAC_T15/18\\n"
+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\\nEstación:\\n"+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)

```

```

@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p > 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AC_T15/18'))
    def alertaAmonioAC_T15_18_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\\nAC_T15/18\\n"
+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\\nEstación:\\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"\\n")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)

```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaAmonioAMP_T01_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\nAMP_T01\n"
+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p > 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T01'))
    def alertaAmonioAMP_T01_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\nAMP_T01\n"
+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 0)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p <= 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaAmonioAMP_T04_1 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\nAMP_T04\n"
+aux.lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 4"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

```
@pk.Rule(Hechos(St_Name=pk.MATCH.St_Name,R_Name='Amonio',
R_Value=pk.P(lambda p: p > 100),R_Type=pk.MATCH.R_Type,
R_Tipo='AMP-T04'))
    def alertaAmonioAMP_T04_2 (self):
        aux.texto.write("\n"+"***Regla activada: Amonio***\nAMP_T04\n"
+aux.no_lim_Vert+"."+aux.no_ley_nca_cma+"\nEstación:\n"
+rules_station_name)
        aux.texto.write("\n"+"Valor del parámetro:"+str(rules_param_value)+"\n"
+"Puntuación obtenida: 0"+"")
        aux.sumaPuntos(rules_station_name, 4)
```

2.3. Motor de inferencia

La librería Pyknow [38] proporciona un motor de conocimiento propio, que contiene y gestiona los diferentes elementos del sistema, entre los que se encuentran las reglas o la agenda, que provee el listado de reglas que debe ejecutar el SE.

Su implementación se presenta en la clase KnowledgeEngine [39], que se encuentra en el módulo pyknow.engine. La clase posee varios métodos que permiten la modificación, duplicación o eliminación de hechos, la obtención de las reglas del sistema, y la ejecución o reseteo del motor.

Para la ejecución del motor es necesario que se instancie la clase, a continuación se llame al método reset(), y por último se llame al método run().

Ejemplo de ejecución:

```
class Motor(pk.KnowledgeEngine):  
  
    @pk.Rule(Facts(HT=pk.P(lambda p: 0 <= p <=0.3)))  
        def alertaHTmuybueno (self):  
            print("Valor Muy bueno (inferior a MPE)")  
  
    ...  
  
# Ejecución:  
engine = Motor()  
engine.reset()  
engine.run()
```

2.4. Codificación del Sistema Experto

La aplicación se ha desarrollado en lenguaje Python, utilizando el IDE (Integrated Development Environment) Spyder. En el anexo 6.2. se incluye el manual de usuario de la aplicación SeaQ.

Con la intención de facilitar el uso de la aplicación SeaQ, se han implementado las funcionalidades necesarias para que el SE pueda reconocer los ficheros de entrada en formato Excel.

Desde la web del dma se pueden descargar los ficheros con la información de las estaciones de muestreo y la selección de los parámetros para su evaluación. Los ficheros que se generan desde la web presentan la información dispuesta en diferentes líneas, utilizando una línea por parámetro, tal como se muestra en la imagen siguiente (Ilustración 3).

1	Provincia	Código	Estación de muestreo	Naturaleza	Fecha de toma	Parámetro	Unidades	Resultado	Masa de a Demarcación hidrográfica	XUTM	YUTM
2	CADIZ	62T6010	MARISMAS DE CADIZ Y SAN FERNANDO	Aguas	16/01/2018	Cadmio Disuelto	µg/L	0.50	MARISMA GUADALETE Y BARBATE	215538	4038352
3	CADIZ	62T6025	MARISMAS DE CADIZ Y SAN FERNANDO	Aguas	16/01/2018	Mercurio Disuelto	µg/L	<0.01	MARISMA GUADALETE Y BARBATE	214996	4038077
4	CADIZ	62T4005	CURSO FLUVIAL DEL GUADALETE 2 (LA C)	Aguas	18/01/2018	Endosulfan	µg/L	0	CURSO FI GUADALETE Y BARBATE	222029	4060619
5	CADIZ	62T4005	CURSO FLUVIAL DEL GUADALETE 2 (LA C)	Aguas	18/01/2018	Clorpirifos	µg/L	0.0109	CURSO FI GUADALETE Y BARBATE	222029	4060619
6	CADIZ	62T4005	CURSO FLUVIAL DEL GUADALETE 2 (LA C)	Aguas	18/01/2018	Endosulfan alfa	µg/L	<0.00015	CURSO FI GUADALETE Y BARBATE	222029	4060619
7	CADIZ	62T4005	CURSO FLUVIAL DEL GUADALETE 2 (LA C)	Aguas	18/01/2018	Endosulfan beta	µg/L	<0.00015	CURSO FI GUADALETE Y BARBATE	222029	4060619
8	CADIZ	62T4010	CURSO FLUVIAL DEL GUADALETE 1 (1)	Aguas	18/01/2018	Cadmio Disuelto	µg/L	<0.05	CURSO FI GUADALETE Y BARBATE	219753	4058093
9	CADIZ	62T4030	DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2	Aguas	18/01/2018	Cadmio Disuelto	µg/L	0.74	DESEMB(GUADALETE Y BARBATE	216669	4055171
10	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Cadmio Disuelto	µg/L	0.087	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
11	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Tributilestaño	µg/L	0.00112	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
12	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Amonio	mg/L	0.113	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
13	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Nitros	mg/L	0.0138	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
14	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Nitros	mg/L	0.298	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
15	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Nitrógeno Total	mg/L	1.04	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
16	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Fosfatos	mg P/L	0.034	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
17	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	Turbidez	NTU	<4	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
18	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	pH Fondo	Unid. pH	8.14	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958
19	CADIZ	62C1147	PUERTO DE TARIFA (BOCANIA EXTERIOR)	Aguas	08/02/2018	pH Secchi	Unid. pH	8.14	PUERTO I GUADALETE Y BARBATE	265441	3987958

Ilustración 3. Fragmento del fichero de entrada de datos.

Para la correcta evaluación de los parámetros de las estaciones, el sistema realiza una transformación de la disposición de los datos que almacena en una estructura interna de estaciones.

La estructura se implementa mediante la clase estación, que se almacena en un diccionario de estaciones:

class station:

```
def __init__(self, name, date, valores, tipo, l_n, mda, points, medias,demarc):
```

```
    self.name = "
```

```
    self.date = "
```

```
    self.valores = dict()
```

```
    self.tipo = "
```

```
    self.l_n = "
```

```
    self.mda = "
```

```
    self.points = "
```

```
    self.medias = "
```

```
    self.demarc = "
```

```
def __str__(self):
```

```
    retVal = (self.name+", "+self.date+", "+str(self.valores)+", "+self.tipo+
```

```
    ", "+self.l_n+", "+self.mda+", "+str(self.points)+", "+str(self.medias)+", "+self.demarc
```

```
)
```

```
    return retVal
```

#Estructura para almacenar las estaciones

```
stations = [ ]
```

Cada estación guarda la información de su nombre, fecha, el conjunto de los valores de los parámetros de la estación, su tipología, el tipo de agua, el nombre de la masa de agua, la demarcación geográfica y dos campos para almacenar las puntuaciones y las medias.

La representación de la estructura se muestra en la imagen siguiente (Ilustración 4)

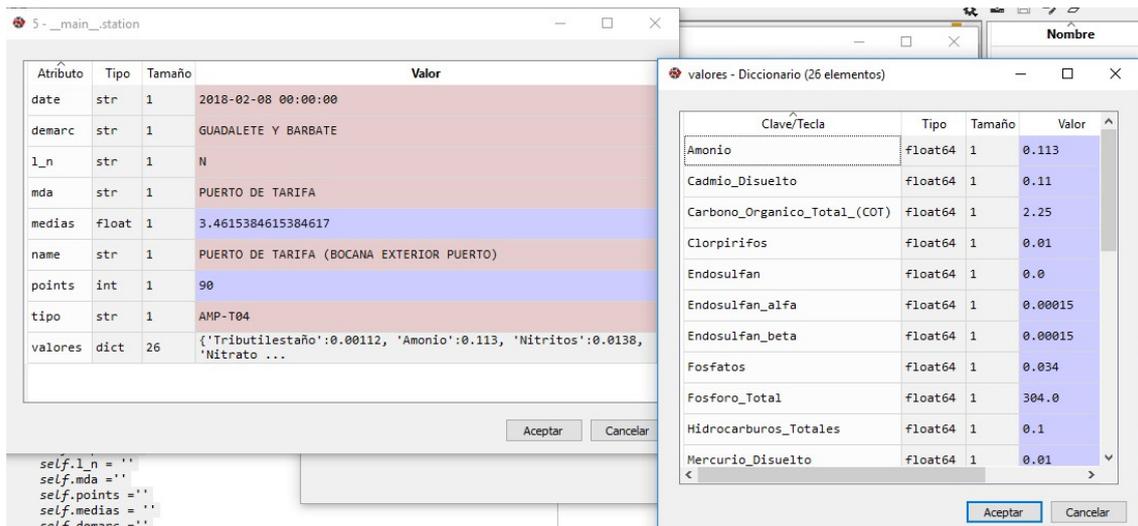


Ilustración 4. Estructura de las estaciones del sistema.

Para almacenar las estaciones y sus datos, el sistema recorre las líneas del fichero Excel de entrada, y va almacenando los valores en la estructura descrita.

```
for i in range(len(dfs)):
```

```
    Encontrado = False
```

```
    #estacion nueva.
```

```
    s=station(str(dfs.loc[i].Estacion_de_muestreo),"",(dfs.loc[i].Parametro,dfs.loc[i].Resultado), "Tipo","Limitada o Normal", "", 0,0,(dfs.loc[i].Demarcacion_hidrografica))
    name=dfs.loc[i].Estacion_de_muestreo
```

```
    for j in range(len(stations)):
```

```
        if str(name) == str(stations[j].name): Encontrado = True
```

```
        if Encontrado == True:
```

```
            if dfs.loc[i].Parametro not in stations[j].valores:
```

```
                stations[j].valores[dfs.loc[i].Parametro]=dfs.loc[i].Resultado
```

```
    if (Encontrado == False):
```

```
        ""si NO esta en el struc, se añaden estacion y parametros""
```

```
    s1=station(dfs.loc[i].Estacion_de_muestreo,"",(dfs.loc[i].Parametro,dfs.loc[i].Resultado),"tp", "L o N", "", 0,0,"")
```

```
    s1.name=dfs.loc[i].Estacion_de_muestreo
```

```
    s1.date=str(dfs.loc[i].Fecha_de_toma)
```

```
    s1.tipo="tipo"
```

```
    s1.l_n="lim o norm"
```

```
    s1.mda=dfs.loc[i].Masa_de_agua
```

```
    s1.points=0
```

```
    s1.medias=0.0
```

```
    s1.demarc=dfs.loc[i].Demarcacion_hidrografica
```

```
    stations.append(s1)
```

La siguiente tarea que realiza el sistema es la integración de las tipologías de las estaciones, que obtiene del fichero Excel “Tipologías_Estaciones” (Ilustración 5).

Masa_de_Agua	Limitada o Normal	Tipologia de la estacion
BRAZO DEL ESTE	L	AT-T12
CORTA DE LA CARTUJA	L	AT-T12
CORTA SAN JERONIMO-PRESA DE ALCALA DEL RIO.	L	AT-T12
CORTAS DE LA ISLETA, MERLINA, PUNTA DEL VERDE Y VEGA DE TRIANA.	L	AT-T12
CORTAS DE LOS JERONIMOS, LOS OLIVILLOS Y FERNANDINA	L	AT-T12
DARSENA ALFONSO XII	L	AT-T12
DESEMBOCADURA GUADALQUIVIR - BONANZA	L	AT-T12
DOÑANA - MATALASCAÑAS	L	AC-T15/18
PARQUE NACIONAL DE DOÑANA	L	AC-T15/18
ENCAUZAMIENTO DEL GUADAIRA	L	AT-T12
GUADAMAR Y BRAZO DEL OESTE	L	AT-T12
LA ESPARRAGUERA - TARGIA	L	AT-T12
LA MATA - LA HORCADA	L	AT-T12
MARISMAS DE BONANZA	L	AT-T12
PLUMA DEL GUADALQUIVIR	L	AC-T15/18
RIVERA DE HUELVA	L	AT-T12
AMBITO COSTERO PARQUE NATURAL MARISMAS DE BARBATE	L	AC-T20
AMBITO DE LA DESEMBOCADURA DEL GUADALETE	L	AMP-T04
BAHIA EXTERNA DE CADIZ	L	AC-T13
BASE NAVAL DE ROTA	L	AMP-T04
CABO DE GRACIA PUNTA DE TARRIA	N	AC-T20

Ilustración 5. Fragmento del fichero de tipologías.

El sistema realiza un recorrido por las estaciones registradas y les asigna sus valores referentes a las distintas tipologías.

```
for k in range(len(stations)):
    mda=stations[k].mda
    name=stations[k].name

    for l in range(len(tipologias)):
        masa=tipologias.loc[l]

        if (str(masa[0])) in mda:
            stations[k].tipo=str(masa[2])
            stations[k].l_n=str(masa[1])

        elif(str(masa[0])) in name:
            stations[k].tipo=str(masa[2])
            stations[k].l_n=str(masa[1])

        elif str(mda) in (str(masa[0])):
            stations[k].tipo=str(masa[2])
            stations[k].l_n=str(masa[1])
```

Una vez que los datos están dispuestos en el formato deseado, el sistema procede a ejecutar el motor de inferencia de la librería Python, mediante la ejecución del siguiente código, que realiza un recorrido por las estaciones del sistema, de las que se van leyendo sus parámetros, que se utilizan para generar los hechos del sistema.

```

"""Inicialización del Motor"""
engine= Motor()

for n in range(len(stations)):
    st = stations[n]
    S_Name=st.name
    S_Type=st.l_n
    S_Tipo=st.tipo

    elementos=tuple(st.valores.items())
    for o in range(len(elementos)):

        R_Name=elementos[o][0]

        engine.reset()

        """Generación de los hechos"""
        engine.declare(Hechos(StationName=S_Name, RuleName=R_Name,
        RuleValue=elementos[o][1],RuleType=S_Type, RuleTipo=S_Tipo ))

rules_station_name=S_Name
rules_param_value=elementos[o][1]
rules_tipology_value
rules_type_value

"""Ejecución del motor de Inferencia"""
engine.run()

```

La asignación de la puntuación obtenida por cada parámetro evaluado de cada estación de muestreo, se realiza mediante la clase SumaPuntos, que se encarga de almacenar los valores obtenidos en el campo correspondiente de la estación evaluada.

```

class sumaPuntos():
    def __init__(self, st, pt):
        self.st= "
        self.pt=0
        for itsuma in range(len(stations)):
            if st==stations[itsuma].name:
                stations[itsuma].points = stations[itsuma].points + pt

```

En último lugar, a partir de la ejecución de la inferencia entre los hechos y las reglas, seaQ genera cuatro informes:

Informe 1: Informe de evaluación de cada parámetro en cada estación de manera individual.

Se muestran para cada uno de los datos, la consecución o no de los límites de calidad establecidos por la legislación. De ésta manera queda reflejado conforme a la legislación, si el dato cumple o no cumple los límites de calidad ambiental y/o vertidos.

En el informe se muestra además, para cada uno de los parámetros, una valoración de su calidad basada en puntos otorgados conforme a los requisitos legales (Ilustración 6).

Archivo de salida, seaQ_RA.txt.

```

***Regla activada: Amonio***
AT_T12
Cumple el límite de vertidos
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.93
Puntuación obtenida: 2

***Regla activada: Mercurio Disuelto***
No hay datos de media anual,Cumple NCA-CMA
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.01
Puntuación obtenida: 4

***Regla activada: Endosulfan***
Cumple NCA-CMA,Valor inferior a la media anual
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.0
Puntuación obtenida: 4

***Regla activada: Clorpirifos***
Cumple NCA-CMA,Valor inferior a la media anual
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.01
Puntuación obtenida: 4

```

Ilustración 6. Fragmento del Informe SeaQ de evaluación de parámetros.

Informe 2: Informe de evaluación de calidad de las estaciones.

Para cada estación se muestra su puntuación total como la suma de los puntos obtenidos en cada parámetro medido (Ilustración 7).

Archivo seaQ_Informe_puntos.txt.

```

Nombre de la Estación:
PUERTO DE CADIZ - BAHIA INTERNA DE CADIZ (3)
Puntuación de la estación:97
Número de Parámetros:29

Lista de parámetros:{'Nitritos': 0.022, 'Tributilestaño': 0.001,
'Benzo_g_h_i_perileno': 0.01, 'Indeno_1_2_3_c_d_pireno': 0.01,
'Fosfatos': 0.084, 'Oxigeno_Disuelto_Superficie': 90.6,
'Oxigeno_Disuelto_Fondo': 90.52, 'pH_Superficie': 8.03, 'Nitratos':
0.57, 'Amonio': 0.12300000000000001, 'Nitrogeno_Total': 0.74,
'Cadmio_Disuelto': 0.05, 'Mercurio_Disuelto': 0.01, 'Endosulfan': 0.0,
'Endosulfan_beta': 0.00015, 'Endosulfan_alfa': 0.00015, 'Clorpirifos':
0.0104, 'Carbono_Organico_Total_(COT)': 1.0, 'Fosforo_Total': 270.0,
'Nitrogeno_Kjeldahl': 304.0, 'Oxigeno_Disuelto_(in_situ)': 101.0,
'pH_(in_situ)': 8.14, 'Turbidez': 4.0, 'Hidrocarburos_Totales': 0.2,
'Plomo_Disuelto': 1.0, 'Terbutilazina': 0.05,
'Oxigeno_Disuelto_Secchi': 100.5, 'pH_Fondo': 7.9, 'pH_Secchi': 7.91}

Puntuacion/Numero de Parámetros:
3.3448275862068964

-----

Nombre de la Estación:
BASE NAVAL DE ROTA (FRENTE PLAYA DEL CHORRILLO)
Puntuación de la estación:93
Número de Parámetros:27

Lista de parámetros:{'Fosforo_Total': 270.0, 'Nitrogeno_Kjeldahl':
151.0, 'pH_Superficie': 8.09, 'Fosfatos': 0.040999999999999995,
'Oxigeno_Disuelto_Fondo': 98.4, 'Oxigeno_Disuelto_Secchi': 97.9,
'Oxigeno_Disuelto_Superficie': 99.68, 'Amonio': 0.057999999999999996,
'Nitratos': 0.53, 'Nitritos': 0.0194, 'Nitrogeno_Total': 0.82,

```

Ilustración 7. Fragmento del informe SeaQ de evaluación de calidad de las estaciones.

Informe 3: Informe de evaluación ordenada de calidad de las estaciones. Puesto que el número de parámetros medidos varía en función de la estación, se presenta un informe de calidad de las estaciones ordenadas en base a la media entre la puntuación y el número de parámetros medidos (Ilustración 8). Archivo seaQ_Informe_medias.txt

```
Nombre de la Estación:  
DESEMBOCADURA GUADIANA (AYAMONTE) (2)  
Puntuación de la estación:44  
Número de Parámetros:11  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
4.0
```

```
-----  
Nombre de la Estación:  
MARISMAS DE ISLA CRISTINA (3)  
Puntuación de la estación:44  
Número de Parámetros:11  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
4.0
```

```
-----  
Nombre de la Estación:  
CANAL DEL PADRE SANTO 1 (2)  
Puntuación de la estación:85  
Número de Parámetros:22  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
3.8636363636363638
```

Ilustración 8. Fragmento del informe SeaQ de evaluación ordenada de calidad de las estaciones.

Informe 4: Informe de calidad por demarcación hidrográfica. Para cada demarcación hidrográfica, se muestra el resultado ordenado de la evaluación de la calidad de las estaciones que la componen (Ilustración 9). Archivo seaQ_Informe_demarc.txt

```
Nombre de la Estación:  
PUERTO DE TARIFA (BOCANA EXTERIOR PUERTO)  
Puntuación de la estación:91  
Número de Parámetros:26  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
3.5
```

```
Demarcación hidrográfica:  
GUADALETE Y BARBATE
```

```
-----  
Nombre de la Estación:  
BASE NAVAL DE ROTA (FRENTE PLAYA DEL CHORRILLO)  
Puntuación de la estación:93  
Número de Parámetros:27  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
3.4444444444444446
```

```
Demarcación hidrográfica:  
GUADALETE Y BARBATE
```

```
-----  
Nombre de la Estación:  
PUERTO DE CADIZ - BAHIA INTERNA DE CADIZ (2)  
Puntuación de la estación:93  
Número de Parámetros:27  
Puntuacion/Numero de Parámetros:  
3.4444444444444446
```

```
Demarcación hidrográfica:  
GUADALETE Y BARBATE
```

Ilustración 9. Fragmento del informe SeaQ de calidad por demarcación hidrográfica.

2.5. Validación del Sistema Experto

El sistema ha sido validado por un experto en la materia mediante la comprobación de sus resultados con los proporcionados por el programa SeaQ.

El proceso seguido por el experto para el análisis de cada dato es el descrito anteriormente (Ilustración 2). Para ello, el experto ha seleccionado 33 datos correspondientes a cada una de las distintas variables y de varias estaciones de muestreo y ha comparado el valor de cada uno de los datos con la legislación aplicable.

Tras la comparación de los resultados, el experto ha comprobado que SeaQ muestra correctamente para cada dato, la información relativa al cumplimiento o no de la legislación aplicable, según indica en el primer informe del programa (Tabla 6). Ha comprobado además que las distintas estaciones de muestreo están correctamente identificadas con las tipologías de las masas de agua a las que pertenecen de lo que se deduce que las reglas han sido creadas adecuadamente.

Del segundo y tercer informe del SeaQ en el que se establece una ordenación numérica de la calidad por estaciones, el experto se ha mostrado conforme a los resultados, refiriendo además alto interés por ella, pues actualmente la calificación que se otorga al logro o no de los objetivos se reduce a decir si cumple o no cumple los límites legales.

El cuarto informe permite obtener una visión general del estado de las estaciones de muestreo en cada demarcación hidrográfica. En consecuencia es posible comparar la calidad de las aguas entre estaciones y demarcaciones hidrográficas. Así por ejemplo la valoración de la peor estación de muestreo de la demarcación del Guadalete y Barbate, es sólo ligeramente inferior a la mejor estación de muestreo de la demarcación del Guadalquivir.

Tras la comprobación exhaustiva del primer informe por parte del experto, la valoración numérica del resto de los informes no ha podido ser comprobada debido al tiempo requerido para completar el proceso. Valorando las estaciones con peores resultados el experto confirma que es conocida la mala calidad de la última estación, aunque desconocía que fuera la peor de toda la cuenca atlántica.

Experto			SeaQ	Experto			SeaQ
Parámetro	Estación	Resultado		Parámetro	Estación	Resultado	
Níquel Disuelto	Río Tinto 1 (Palos de la Frontera)	Cumple NCA-CMA	√	Fósforo Total	Punta Umbria-1500 m antes del espigón de Huelva (3)	Cumple LBSM	√
Plomo Disuelto	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	Cumple NCA-CMA, Valor inferior a la media anual aplicable en 2027, Valor inferior a la media anual	√	Carbono orgánico Total	Río Odiel 2 (Puerto de Huelva) (3)	Máximo potencial ecológico	√
Clorpirifos	Base Naval de Rota (Frente playa del Chorrillo)	Cumple NCA-CMA, Valor inferior a la media anual	√	Oxígeno Disuelto(sec chi)	Río Tinto 1 (Palos de la Frontera)	Cumple el límite de vertidos.No se legisla NCA-CMA	√
Diurón	Marismas de Bonanza (Caño La Esparraguera)	Cumple NCA-CMA, Valor inferior a la media anual	√	Oxígeno Disuelto(fondo)	Desembocadura Guadalquivir-Bonanza	Cumple el límite de vertidos.No se legisla NCA-CMA	√
Cadmio Disuelto	Marismas de Barbate 2	Cumple NCA-CMA, Valor inferior a la media anual	√	Oxígeno Disuelto(superficie)	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	Cumple el límite de vertidos.No se legisla NCA-CMA	√
Mercurio Disuelto	Desembocadura del Guadalete 1 (Puerto de Santa María))	No hay datos de media anual,Cumple NCA-CMA	√	Oxígeno Disuelto(in situ)	Marismas de Cádiz y San Fernando (1)	Cumple el límite de vertidos.No se legisla NCA-CMA	√
Ftalato de bis(2 etilhexilo)	Desembocadura Guadalquivir-Bonanza	Valor inferior a la media anual,No se legisla NCA-CMA	√	Nitratos	Curso fluvial del Guadalete 2 (y el Portal)	Cumple el límite bueno moderado	√
Benzo[g,h,i]perileno	Frente a San Fernando-Cabo de Trafalgar (4)	No cumple NCA-CMA, Valor superior a la media anual, Cumple el límite de vertidos	√	Nitritos	Marismas de Cádiz y San Fernando (1)	Cumple el límite bueno moderado	√
Indeno [1,2,3-c,d]pireno	Puerto de Cádiz-Bahía interna de Cádiz (4)	No se legisla NCA-CMA, Valor superior a la media anual, Cumple el límite de vertidos	√	Nitrógeno Total	Puerto de Tarifa (Bocana Exterior Puerto)	Cumple el límite de vertidos,No se legisla NCA-CMA	√
Tributilestano	Marismas del Río San Pedro (1)	No cumple NCA-CMA, Valor superior a la media anual	√	Amonio	Curso fluvial del Guadalete 2	Cumple el límite de vertidos	√
Endosulfán	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	Cumple NCA-CMA, Valor inferior a la media anual	√	Fosfatos	Marismas de Barbate 2	Cumple el límite bueno moderado	√

Experto			SeaQ	Experto			SeaQ
Parámetro	Estación	Resultado		Parámetro	Estación	Resultado	
Cobre Disuelto	Río Tinto 1 (Palos de la Frontera) (1)	Valor inferior a la media anual, No existe NCA-CMA para este parámetro	√	Turbidez	Puerto de Tarifa (Bocana Exterior Puerto)	Cumple LBSM	√
Cinc Disuelto	Cartaya- Puerto de el Terrón	Valor superior a la media anual, No existe NCA-CMA para este parámetro, Cumple el límite de vertidos	√	pH (secchi)	Desembocadura Guadalquivir- Bonanza	Cumple el límite de vertidos. No se legisla NCA-CMA	√
Terbutilazina	Marismas de Cádiz y San Fernando (3)	Valor inferior a la media anual, No existe NCA-CMA para este parámetro	√	pH (fondo)	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	Cumple el límite de vertidos. No se legisla NCA-CMA	√
Hidrocarburos Totales	Canal del Padre Santo 1 (2)	Cumple el límite de vertidos. No se legisla NCA-CMA	√	pH (superficie)	Cortas de los Jerónimos, los Olivillos y Fernandina (1)	Cumple el límite de vertidos. No se legisla NCA-CMA	√
Nitrógeno Kjeldahl	Puerto de Cádiz-Bahía interna de Cádiz (4)	Cumple LBSM	√	pH (in situ)	Desembocadura del Guadalete 2	Cumple el límite de vertidos. No se legisla NCA-CMA	√

Tabla 6. Validación de resultados.

Dónde: √ : SeaQ obtiene el mismo resultado que el experto. NCA-CMA: Concentración Máxima Admisible. LBSM: Límite bueno superior moderado.

Como conclusiones adicionales de los informes, el experto insiste en que gracias a la valoración numérica de la calidad, quedan patentes aspectos importantes tales como la necesidad de una mayor protección para el caso de parques naturales como la estación de Doñana, que ha obtenido la segunda peor puntuación. Estos resultados son además coherentes con el hecho de que la peor puntuación por cuencas, ha sido la del Guadalquivir, río que desemboca en Sanlúcar de Barrameda limitando con el parque natural de Doñana.

3. Conclusiones

3.1. Conclusiones de la metodología y del producto obtenido

Debido al creciente interés por la problemática ambiental actual, la sociedad demanda un mayor control sobre la contaminación que asegure la calidad del medio ambiente, acorde con un desarrollo sostenible de los recursos disponibles. Debido a su importancia en la agricultura, ganadería, conservación de especies y su carácter lúdico asociado, la contaminación del agua es uno de los aspectos que más preocupa a la sociedad.

Para evaluar el estado ambiental de las aguas del litoral atlántico andaluz, se ha propuesto un SE basado en reglas acorde a la legislación aplicable en materia de seguimiento ambiental, evaluación, normas de calidad y vertidos.

Para ello, tras la revisión bibliográfica sobre SE, legislación y conceptos generales sobre la calidad del agua, se ha creado la base de conocimiento, seleccionado las variables y finalmente se ha creado el conjunto de reglas codificadas en lenguaje Python. Así, con las 321 reglas creadas, se han logrado evaluar aproximadamente 2000 datos correspondientes a 33 parámetros químicos y físico-químicos, medidos en 53 estaciones de muestreo, de las 4 demarcaciones hidrográficas que componen la vertiente atlántica andaluza.

Los informes generados tras la ejecución del programa, muestran la siguiente información:

Informe 1: Informe de evaluación de cada parámetro en cada estación de manera individual. Se muestran para cada uno de los datos, la consecución o no de los límites de calidad establecidos por la legislación y se establece un sistema de valoración basado en puntos.

Informe 2: Informe de evaluación de calidad de las estaciones. Se muestra el resultado de la calidad de las estaciones, a partir de la puntuación obtenida por los parámetros de cada estación.

Informe 3: Informe de evaluación ordenada de calidad de las estaciones. Se presenta un informe de calidad de las estaciones ordenadas en base a la media entre la puntuación y el número de parámetros medidos.

Informe 4: Informe de calidad por demarcación hidrográfica, que muestra el resultado ordenado de la evaluación de la calidad de las estaciones que componen cada demarcación.

Comparado con la valoración convencional que realiza un experto de forma manual, los resultados obtenidos se limitan al contenido del primer informe obteniendo los mismos resultados. Mediante el SE desarrollado, además de la información adicional que se obtiene con los demás informes, la valoración es más rápida y precisa en la prevención de los errores provocados por la incorrecta comparación de los datos con la legislación específica.

A partir los informes generados tras la ejecución del programa, se pueden derivar otras conclusiones, como por ejemplo establecer un orden de prioridad de actuación, medidas preventivas y/o correctoras para lograr y/o mantener la calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz en función del parámetro, estación y/o demarcación hidrográfica.

3.2. Limitaciones y perspectivas

3.2.1. Limitaciones en la selección de variables

Para encontrar la correspondencia entre los datos suministrados por la web del dma y el cumplimiento de éstos en base a las normas de calidad ambiental, se ha realizado una extensa búsqueda de información con el fin de determinar la equivalencia entre cada estación de muestreo, con su tipología de masa de agua concreta, así como de su legislación específica aplicable.

Al comparar los datos suministrados con los requerimientos legales, se ha observado que en ocasiones los datos suministrados por la web del dma en el apartado de “parámetros físico-químicos”, no responden a todos los parámetros que deben medirse según la legislación por Real Decreto 817/2015 (Tabla A2 anexo).

Por otro lado, en la web del dma se presentan datos para otros parámetros cuyos valores límite no están fijados como NCA. Para conocer los valores límite de estos datos, ha sido necesario recurrir a legislación menos restrictiva y anterior en materia de vertidos.

En la selección de variables que se han aplicado en la elaboración de las reglas, se han tenido en cuenta los parámetros indicados en la legislación actual fechada en 2015 y su correspondencia con los datos medidos. Se debe considerar que en caso de cambio de la legislación aplicable estos parámetros, así como sus valores límite pueden variar, siendo necesario un mantenimiento o actualización de las reglas de la aplicación.

3.2.2. Limitaciones en el desarrollo del producto

La codificación de las reglas incluye una terminología propia del ámbito de la química y del medio ambiente. Se han logrado parametrizar internamente los textos comunes que indican el grado de cumplimiento de la legislación. Para los nombres propios de las sustancias químicas en cambio, no ha sido posible integrar diccionarios como el thesaurus interWATER, debido a que no incluye la mayoría de los parámetros empleados en la aplicación.

El objetivo original del trabajo consistía en la evaluación de la calidad total del agua o estado ecológico del litoral atlántico andaluz en base a todos los datos suministrados y a la legislación aplicable. Sin embargo, y tal y como se ha

expuesto anteriormente, en algunos casos debido a la falta de legislación para evaluar los datos, o en otros por falta de datos requeridos por la legislación, no ha sido posible evaluar la calidad total y se ha limitado el estudio a los parámetros que evalúan el estado químico, y el químico y físico-químico de soporte a los elementos biológicos.

3.2.3. Perspectivas de aplicación

Este trabajo está diseñado para el estudio de la calidad de las aguas superficiales del litoral atlántico andaluz en base a sus variables químicas y físico-químicas. Considerando que la legislación establece valores límite y condiciones de referencia específicos para cada masa de agua concreta, que dependen de la situación geográfica de las distintas estaciones de muestreo, el producto presentado sólo es aplicable a las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir, Guadalete y Barbate, Guadiana y Tinto, Odiel y Piedras.

Debido a que la legislación no discrimina valores límite específicos y dependientes de la masa de agua para los parámetros que evalúan el estado químico, las reglas descritas para éstas variables, si serían aplicables a todas las cuencas hidrográficas de España.

La ley por tanto, limita la aplicación del programa completo al resto de las demarcaciones hidrográficas españolas y tendrían que modificarse todas las reglas correspondientes a la evaluación de los parámetros físico-químicos y de soporte a los elementos biológicos.

En caso de requerir su ampliación a otras demarcaciones, o estudiar la calidad en otros productos, se podría aplicar el mismo método del planteamiento y resolución del problema aquí presentado tras la adaptación de las reglas, previo estudio de la legislación aplicable.

4. Glosario

AC: Aguas Costeras .

AC-T13: Golfo de Cádiz.

AC-T15/18: Aguas costeras atlánticas expuestas o semi-expuestas con afloramiento medio o intenso, protegidas y no.

AC-T20: Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas.

AMP: Puertos.

AMP-T01: Aguas de transición atlánticas de renovación baja.

AMP-T04: Puertos. Aguas costeras atlánticas de renovación alta.

AT: Aguas de Transición.

AT-T12: Estuario atlántico mesomareal con descargas irregulares de río.

AT-T13: Estuario Tinto-Odiel.

COT: Carbono orgánico total.

CR: Condición de referencia.

HT: hidrocarburos totales en superficie.

IA: Inteligencia Artificial.

IDE: Entorno de desarrollo integrado.

LBM: Límite bueno/moderado

LBSM: Límite bueno o superior/moderado.

LMD: Límite moderado/Deficiente.

LV: límite de vertidos.

MPE: Máximo Potencial ecológico.

NA: No aplicable.

NCA: Normas de Calidad Ambiental.

NCA-CMA: Concentración Máxima Admisible.

NCA-MA: Media Anual.

NKT: Nitrógeno Kjeldahl.

OD: Oxígeno disuelto.

PT: Fósforo total.

SE: sistemas expertos.

Sed.: Sedimento.

U: Unidad de medida.

VIL: Valor imperativo para vertidos en aguas litorales limitadas.

VIN: Valor imperativo para vertidos en aguas litorales normales.

VPV: Valor puntual de vertidos.

5. Bibliografía

- [1] Galán R., Jiménez A., Sanz R., Matía F. Control Inteligente Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, vol. 4, núm. 10, verano, 2000, pp. 43-48. ISSN: 1137-3601. Asociación Española para la Inteligencia Artificial. Valencia, España
<https://www.redalyc.org/pdf/925/92541004.pdf>
- [2] Mahfouf M., Abbod M.F., Linkens D.A.. A survey of fuzzy logic monitoring and control utilisation in medicine. Artificial Intelligence in Medicine 21 (2001) 27-42. [https://doi.org/10.1016/S0933-3657\(00\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S0933-3657(00)00072-5)
- [3] Web Cibernético: <https://cibernético.org/2007/03/09/%C2%BFque-es-un-sistema-experto/> (Visitada 27/02/2019)
- [4] Web EcuRed: https://www.ecured.cu/index.php?title=Sistemas_expertos&oldid=3087745 (Visitada 27/02/2019)
- [5] Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control 1965; 8:338-53. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [6] Gadaras I., Mikhailov L. An interpretable fuzzy rule-based classification methodology for medical diagnosis. Artif Intell Med. 2009 Sep;47(1):25-41. doi: 10.1016/j.artmed.2009.05.003. Epub 2009 Jun 18.
- [7] Rahimi S. A., Jamshidi A., Ruiz A., Ait-kad D. A new dynamic integrated framework for surgical patients' prioritization considering risks and uncertainties. Decision Support Systems. Volume 88, August 2016, Pages 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2016.06.003>
- [8] Adrián R. Sistemas expertos para la realización de diagnóstico de trastornos neuromusculares con electromiografía. Aconcagua 2011. http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/265/tesis-3970-sistemas.pdf (Visitada 07/03/2019)
- [9] Gómez H.J. Tesis Doctoral. Sistema Inteligente de búsqueda y clasificación de casos de infección nosomial. Vigo 2013. <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/106/Sistema%20inteligente%20de%20b%C3%BAsqueda.pdf?sequence=1>. (Visitada el 07/03/2019)
- [10] Cerrolaza M. Un sistema Experto para la evaluación del nivel de calidad en estructuras de edificación. http://oa.upm.es/22094/1/Un_sistema_experto_para_la_evaluacion_del_nivel_de_e_calidad_en_estructuras_de_edificacion.pdf (Visitada 14/03/2019)
- [11] Chrystell, C., Yair P. Un sistema experto para la selección de herramientas de gestión de calidad en la industria de la construcción: El caso del valle de Toluca y Distrito Federal. Tesis. Mexico 2015.

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64614/tesisyaircynthia.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (Visitada 14/03/2019)

[12] Madou F., Agüero M., Esperón G., López De Luise M.D. Sistemas Expertos en Evaluación de Calidad Java. https://www.researchgate.net/publication/267305785_Sistemas_Expertos_en_Evaluacion_de_Calidad_Java (Visitado el 13/03/2019)

[13] Noticia en el periódico. <http://www.elmundoempresarial.es/noticias/es/1412/8/3389/Presentan-el-primer-sistema-para-el-control-de-calidad-del-c%C3%A9sped-mediante-inteligencia-artificial.htm> (Visitada 13/03/2019)

[14] Barnwell Jr T.O., Brown L. C., Marek W.. Application of Espert systems technology in water quality modeling. Water Pollution research and control Brighton. Proceedings of the Fourteenth Biennial Conference of the International Association on Water Pollution Research and Control, held in Brighton, U.K., 18–21 July, 1988, Pages 1045-1056. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-8439-2.50104-8>

[15] Reckhow K.H.. Water quality prediction and probability network models. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1999, 56(7): 1150-1158, <https://doi.org/10.1139/f99-040>

[16] Nasiri F., Maqsood I., Huang G., Fuller N. Water Quality Index: A Fuzzy River-Pollution Decision Support Expert System. Journal of water resources planning and Management. Vol 133, Issue 2, March 2007.

[17] Chau K. A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. Marine Pollution Bulletin Vol 52, Issue 7, Pages 726-733 July 2006, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.04.003>.

[18] Vrtacnik M., Dolnicar D., Cizerle A., Cok P., Glazar S.A., Olbina R.. Design of an expert system for water pollution determination/prevention. Expert Systems with applications. Volume 5, Issues 3-4, 1992, pages 403-410. [https://doi.org/10.1016/0957-4174\(92\)90024-M](https://doi.org/10.1016/0957-4174(92)90024-M)

[19] Ooshaksaraie L., Basri N.E.A.. An Expert System Applied in Construction Water Quality Monitoring. American Journal of Environmental Sciences. Volume 7, Issue 1. Pages 75-81. DOI : 10.3844/ajessp.2011.75.81.

[20] Booty W.G., Lam D.C., Wong I., Kay D., Kerby J.P., Bowen G.S. An expert system for water quality modelling. Environ. Monit. Assess.1992 Dec;23(1-3):1-18. DOI:10.1007/BF00406949

[21] Lermontov A., Yokoyama L., Lermontov M., Soares Machado M.A.. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. Ecological Indicators, Volume 9, Issue 6, Nov 2009, Pages 1188-1197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.006>

[22] Web del ministerio de transición ecológica (MITECO)
<https://www.miteco.gob.es/es/> (Visitada 13/02/2019)

[23] Web de la ONU <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> (Visitada 13/02/2019)

[24] Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (NCA). Condiciones de referencia (CR) y límites de cambio de clase de estado extraídos del Anexo II y Anexo V, para las sustancias prioritarias, otros contaminantes y sustancias preferentes.
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>

[25] Agencia andaluza de medio ambiente y agua
<http://dma.agenciamedioambienteyagua.es/> (Visitada 13/02/2019)

[26]. Web de la Junta de Andalucía:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnnextoid=fcfe42dd24a30510VgnVCM2000000624e50aRCRD> (Visitada 08/04/2019)

[27] Web Monografías: <https://www.monografias.com/trabajos16/sistemas-expertos/sistemas-expertos.shtml>

[28] CLIPS: <http://www.clipsrules.net/index.html> (Visitada 17/03/2019)

[29] Decreto 109/2015, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Vertidos al Dominio Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía. Valores de emisión.
https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/89/BOJA15-089-00174-7748-01_00068899.pdf

[30] Orden de 14 de febrero de 1997 por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad de las Aguas Litorales.
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/1997/27/d4.pdf>

[31] Web de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015/2021.
https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/normativaphguadaletybarbate_tcm30-98552.pdf (Visitada 31/03/2019)

[32] Web de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/porta/web/web/temas_ambientales/agua/planes_hidrologicos/plan_hidrologico2015_2021_top/memoria_top.pdf (Visitada 31/03/2019)

[33] Web de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana: http://planhidrologico2015.chguadiana.es/corps/planhidrologico2015/data/resoures/file/documentos2015/definitivos/segundaetapa/RPH_11_1Rev-T2-Ane9_Estado_masas_vf.pdf (Visitada 31/03/2019)

[34] Puertos www.puertos.es/gl-es/BibliotecaV2/ROM%205.1-13.pdf (Visitada 31/03/2019)

[35] Web de la confederación Hidrográfica del Guadalquivir. <https://www.chguadalquivir.es/demarcacion-hidrografica-guadalquivir> (Visitada 31/03/2019)

[36] Web Junta de Andalucía. Temas Ambientales. Guadalquivir: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/espacios_protegidos/renpa/canales_figuras_proteccion/Red_Natura/2016_06_valores_ambientales_resumenes/6150019_%20bajo_guadalq.pdf (Visitada 31/03/2019)

[37] Red de información ambiental. Consejería de medio ambiente Categoría y tipos de aguas de transición y costeras del litoral atlántico andaluz. (http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/ima/menuitem.5893969315ab596f7bbe6c6f5510e1ca/?vgnnextoid=5b680c7d53ee7110VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=45c55d9df151b210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es) (Visitada 31/03/2019)

[38] Web de la librería PyKnow: Expert Systems for Python. (<https://github.com/buguroo/pyknow>) (Visitada 01/04/2019)

[39] Web de la documentación de la librería PyKnow: Expert Systems for Python. (<https://pyknow.readthedocs.io/en/stable/index.html>) (Visitada 01/04/2019)

[40].Web de la distribución Anaconda: (<https://www.anaconda.com/distribution/>) (Visitada 02/06/2019)

6. Anexos

6.1. Anexo de legislación en materia de aguas

Legislación	Detalle
Decreto 14/1996, de 16 de enero. https://www.juntadeandalucia.es/boja/1996/19/1	RD por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad de las Aguas Litorales. Calidad de las aguas de transición y costeras. Anexo I:Tabla de límites de emisión de vertidos; generales, de sustancias peligrosas, métodos de análisis.
BOJA 97. Orden de 14 de febrero de 1997 https://www.juntadeandalucia.es/boja/1997/27/d4.pdf	Orden por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad de las Aguas Litorales. Anexo I: Clasificación de las aguas litorales andaluzas. Anexo II: Objetivos de Calidad
Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000. https://www.boe.es/doue/2000/327/L0001-00073.pdf	Directiva Marco del Agua. Directiva por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas para mantener la sostenibilidad de los recursos hídricos.
Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276	RD por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas. BOE núm. 176, de 24/07/2001.
Real Decreto 907/2007, de 6 de julio. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-13182	Se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. Y entre otros se define el estado ecológico en el anexo IV.
Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008. https://www.boe.es/doue/2008/348/L00084-00097.pdf	Drectiva relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas por la que semodifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE,84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE
Directiva 2009/90/CE de la Comisión de 31 de julio de 2009. https://www.boe.es/doue/2009/201/L00036-00038.pdf	Se establecen las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas de conformidad con la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
Directiva A 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de agosto de 2013. https://www.boe.es/doue/2013/226/L00001-00017.pdf	Modificación de las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas.
Real Decreto 60/2011, de 21 de enero. https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1139-consolidado.pdf	RD sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Anexo I: para sustancias prioritarias y otras sustancias contaminantes. Anexo II: sustancias preferentes
Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre. https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf	RD por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Anexo II: Condiciones de referencia, máximo potencial ecológico y límites de clases de estado para el seguimiento ambiental.
BOJA 2015. Decreto 109/2015, de 17 de marzo. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/89/BOJA15-089-00174-7748-01_00068899.pdf	Decreto por el que se aprueba el Reglamento de Vertidos al Dominio Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía. Anexo IV: Establece los valores límite de emisión de vertidos a aguas del litoral y superficiales

Tabla 7. Legislación destacable en materia de protección y seguimiento de la calidad ambiental del agua.

Denominación	Delimitación	Clasificación
Litoral Atlántico	Desde desembocadura del Guadiana hasta cabo de Trafalgar (1 milla náutica de Anchura (desde la línea de bajamar escorada))	Normal
Canal del Padre Santo	Desde faro Espigón Juan Carlos I hasta la Punta del Sebo (confluencia Ríos Tinto y Odiel)	Normal
Ríos Tinto y Odiel	Desde la Punta del Sebo hasta donde llega la influencia mareal (Niebla y Gibraleón)	Limitada
Río Guadalquivir	Río Guadalquivir (desde Sanlúcar de Barrameda hasta Presa de Alcalá)	Limitada
Bahía de Cádiz	Desde Bajo de las Cabezuelas (Rota) hasta Punta San Felipe (Cádiz). Aguas interiores que unen los puntos geográficos: 36°31'80 6°14'50 y 36°32'60 6°16'60)	Limitada

Tabla 8. Delimitación, denominación y clasificación de las aguas litorales atlánticas andaluzas.

La clasificación de aguas "Limitada", indica la necesidad especial de protección frente a las aguas "normales" (BOJA Orden de 14 de febrero de 1997) Elaboración propia.

Parámetro (unidad)	NCA-CMA	NCA-MA	VPV
Pentaclorofenoles ($\mu\text{g/L}$)	1	0,4	2
Octilfenoles ((4-(1,1',3,3'-tetrametilbutil)-fenol)) ($\mu\text{g/L}$)	NA	0,01	
Clorfeninfos ($\mu\text{g/l}$)	0,3	0,1	
Triclorobenceno ($\mu\text{g/L}$)	NA	0,4	0,4
1,2 Dicloroetano ($\mu\text{g/L}$)	NA	10	10
Diclorometano ($\mu\text{g/L}$)	NA	20	
triclorometano ($\mu\text{g/L}$)	NA	2,5	
Benceno ($\mu\text{g/l}$)	50	8	
Fluoranteno ($\mu\text{g/l}$)	1 [0,12]	0,1 [0,0063]	
Atrazina ($\mu\text{g/l}$)	2	0,6	
Naftaleno ($\mu\text{g/l}$)	NA [130]	1,2	
Isoproturon ($\mu\text{g/l}$)	1	0,3	
Alacloro ($\mu\text{g/L}$)	0,7	0,3	
Simazina ($\mu\text{g/L}$)	4	1	
Aclonifeno ($\mu\text{g/L}$)	0,012	0,012	
Bifenox ($\mu\text{g/L}$)	0,004	0,0012	
Cibutrina ($\mu\text{g/L}$)	0,016	0,0025	
Cipermetrina ($\mu\text{g/L}$)	6×10^{-5}	8×10^{-5}	
Diclorvós ($\mu\text{g/L}$)	7×10^{-5}	6×10^{-5}	
Terbutrina ($\mu\text{g/L}$)	0,034	0,0065	
Heptacloro y epóxido de heptacloro ($\mu\text{g/L}$)	3×10^{-5}	1×10^{-5}	
Nonilfenoles (4-Nonilfenol) ($\mu\text{g/L}$)	2	0,3	
Difeniléteres bromados ($\mu\text{g/l}$)	NA [0,014]	0,0002	
Cloroalcanos C10-13 ($\mu\text{g/L}$)	1,4	0,4	
Pentaclorobenceno ($\mu\text{g/L}$)	NA	0,0007	
Hexaclorobutadieno ($\mu\text{g/L}$)	0,6	-	0,1
Hexaclorociclohexano ($\mu\text{g/L}$)	0,02	0,002	
Hexaclorobenceno ($\mu\text{g/L}$)	0,05	-	0,03
HAP suma maxima todos los isómeros (indeno, benzo (a) pireno, benzo (b) fluoranteno y benzo (K) fluoranteno) ($\mu\text{g/L}$)	NA	NA	3,42
Benzo[a]pireno ($\mu\text{g/L}$)	0,1 [0,027]	0,05 [$1,7 \times 10^{-4}$]	
Benzo[b]fluoranteno ($\mu\text{g/L}$)	NA [0,017]	$\Sigma = 0,03$	
Benzo[k]fluoranteno ($\mu\text{g/L}$)	NA [0,017]	$\Sigma = 0,03$	
Antraceno ($\mu\text{g/l}$)	0,4 (0,1)	0,1	
Trifluralina ($\mu\text{g/L}$)	NA	0,03	
Dicofol ($\mu\text{g/L}$)	NA	$3,2 \times 10^{-5}$	
Ácido perfluoro-octanosulfónico y sus derivados (PFOS) ($\mu\text{g/L}$)	7,2	$1,3 \times 10^{-4}$	
Quinoxifeno ($\mu\text{g/L}$)	0,54	0,015	
Dioxinas y similares ($\mu\text{g/L}$)	NA	-	
Hexabromociclodecano (HBCDD) ($\mu\text{g/L}$)	0,05	0,0008	

Parámetro (unidad)	NCA-CMA	NCA-MA	VPV
Tetracloruro de carbono (µg /L)	NA	12	12
Tricloroetileno (µg /L)	NA	10	10
Tetracloroetileno(µg /L)	NA	10	
Plaguicidas de tipo ciclodieno: Aldrina Dieldrina Endrina Isodrina (µg/l)	NA	Σ =0,005	
DDT Total (µg /L)	NA	0,025	10
p,p'-DDT(µg /L)	NA	0,01	
Fluoruros (µg /L)		NA	1700
Arsénico (µg As /L)		25	VIL:50 VIN: 25
Cromo total (µg Cr /L)	NA		VIL:20 VIN: 10
Cromo VI (µg Cr /L)		5	VIL:6 VIN: 4
Selenio Total (µg Se /L)		10	1
Cianuros Totales (µg CN ⁻ /L)		NA	1000
Clorobenceno (µg/L)		NA	600
1,1,1-tricloroetano (µg /L)		100	
Etilbenceno (µg/l)		30	
Diclorobenceno (Σ isómeros orto, meta y para) (µg /L)		NA	600
Metalocloro(µg /L)		NA	
Tolueno (µg /L)		50	
Xilenos (Σ isómeros orto, meta y para) (µg/L)		30	

Tabla 9. CR, valores límite y NCA de datos no disponibles.

Que se indican en el Real Decreto 817/2015, para las normas de calidad y que no aparecen como datos en la web del dma. Elaboración propia.

Dónde: NCA-CMA: Concentración Máxima Admisible, NCA-MA: Media Anual. NA: No aplicable. Los datos entre corchetes tienen efecto a partir del 22 de diciembre de 2018, a más tardar el 22 de diciembre de 2027. VIL: Valor imperativo aguas limitadas, VIN: Valor imperativo aguas Normales. VPV: Valor puntual de vertidos.

6.2. Anexo manual de usuario SeaQ

6.2.1. Descarga e instalación de IDE Spyder

La aplicación SeaQ se ha implementado en lenguaje Python (versión 3.6.5), y para su desarrollo se ha utilizado el IDE de programación Spyder, que se incluye en la distribución Anaconda y se encuentra disponible para su descarga [40].

6.2.2. Descarga en instalación de la librería Pyknow

La librería Pyknow de Sistemas Expertos en Python, necesaria para el funcionamiento de la aplicación SeaQ, se encuentra disponible para su descarga [38]. Pyknow ofrece información sobre su instalación [39]. La instalación de la librería para su uso en las aplicaciones del cliente, se realiza mediante la ejecución de la siguiente instrucción en un terminal:

```
$ pip install pyknow
```

6.2.3. Descarga de datos de la web de la Agencia de Medio Ambiente y Agua

La aplicación SeaQ incluye en el directorio de ficheros un listado completo de los datos de las estaciones de muestreo del litoral atlántico andaluz, correspondiente al año 2018 (fichero ASL_FQ_COMPLETO_2018.xls).

En caso de que el usuario desee descargar otra versión de los datos correspondiente a otro periodo diferente, o a alguna estación de muestreo concreta, puede acceder a la web de la Agencia de Medio Ambiente y Agua [25].

En el siguiente formulario extraído de la web de la Agencia de Medio Ambiente y Agua, se deben seleccionar los valores de los indicadores de tipo de masa y datos a mostrar, y a continuación, en los criterios de búsqueda se deberá realizar la selección de los datos organizados por provincias, programas, demarcación hidrográfica o estaciones de muestreo entre otros (Ilustraciones 10 y 11).

The screenshot shows a web form with the following sections and fields:

- Indicadores**
 - Tipo de masa *: Aguas superficiales litorales
 - Datos a mostrar *: Datos físico-químicos
- Criterios de búsqueda**
 - Provincia: Todas
 - Programa: Todos
 - Demarcación hidrográfica *: GUADALETE Y BARBATE, GUADALQUIVIR, GUADIANA, SEGURA, TINTO, ODIEL Y PIEDRAS
- Panel de resultados**
 - Masa de agua: CUENCAS MEDITERRANEAS ANDALUZAS
 - Estación de muestreo: GUADALETE Y BARBATE
 - Parámetro: GUADALQUIVIR
 - Fecha de toma. Desde *: GUADIANA
 - * Datos obligatorios: SEGURA
 - TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

Ilustración 10. Formulario web dma. Selección por demarcación hidrográfica. Extraída de [25].

The screenshot shows a web form with the following sections and fields:

- Estación de muestreo: [Dropdown menu]
- Parámetro: BRAZO DEL ESTE (1) - 51T1010
- Fecha de toma. Desde *: BRAZO DEL ESTE (3) - 51T2020
- * Datos obligatorios: CORTA DE LA CARTUJA - 51T0050
- Panel de resultados**
 - No hay datos a mostrar.
 - CORTA SAN JERONIMO - PRESA DE ALCALA DEL RIO (1) - 51T0030
 - CORTA SAN JERONIMO - PRESA DE ALCALA DEL RIO (2) - 51T0040
 - CORTA SAN JERONIMO - PRESA DE ALCALA DEL RIO (3) - 51T0020
 - CORTA SAN JERONIMO - PRESA DE ALCALA DEL RIO (4) - 51T0010
 - CORTAS DE LA ISLETA MERLINA, PUNTA DEL VERDE Y VEGA DE TRIANA (1) - 51T0060
 - CORTAS DE LA ISLETA MERLINA, PUNTA DEL VERDE Y VEGA DE TRIANA (2) - 51T0070
 - CORTAS DE LOS JERONIMOS LOS OLIVILLOS Y FERNANDINA (1) - 51T0090

Ilustración 11. Formulario web dma. Selección de estaciones de muestreo. Extraída de [25].

Una vez realizada la selección de variables, se debe pulsar el botón Buscar, y en caso de que los resultados obtenidos sean los deseados, se pulsará el botón “XLS” para la descarga de los datos en formato EXCEL (Ilustración 12).

Fecha de toma. Desde * 01/12/2017 Hasta * 01/12/2018 Buscar

* Datos obligatorios

[XLS](#) [CSV](#) [Ver en mapa](#)

Panel de resultados

Provincia	Código	Estación de muestreo	Fecha de toma	Parámetro	Unidades	Resultado	Masa de agua	Demar
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Oxígeno Disuelto Superfíc	mg/L	7,42	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Profundidad toma Superfíc	m	0,78	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Clorofila A	mg/m3	33	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Nitratos	mg/L	33,6	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Amonio	mg/L	0,42	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Nitritos	mg/L	0,266	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Nitrógeno Total	mg/L	9,2	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Fosfatos	mg P/L	0,208	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Fósforo Total	mg/L	0,211	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	pH Superficie	Unid. pH	7,78	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Transparencia	m	0,15	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Conductividad Superficie	mS/cm	1,56	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Temperatura Superficie	°C	14,47	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.
SEVILLA	51T0020	CORTA SAN JERONIMO - PRESA D	22/11/2018	Salinidad Superficie	-	0,78	CORTA SAN JERONIMO	GUAD.

Ilustración 12. Formulario web dma. Panel de resultados.
Extraída de [25].

6.2.4. Aplicación SeaQ

Estructura de directorios (Ilustración 13).



Ilustración 13. Estructura de directorios SeaQ

Estructura de la aplicación

La aplicación SeaQ está compuesta por dos módulos, el principal (seaQ.py) que contiene la codificación referente al Sistema Experto, y el módulo auxiliar (auxiliar.py) que contiene métodos para dar soporte a la aplicación.

Módulo principal:

Contiene el conjunto de Reglas del sistema, el mecanismo para la declaración de los Hechos que se analizan, y la ejecución del motor de Inferencia para la obtención de los resultados del análisis.

Módulo auxiliar:

Contiene métodos de lectura y tratamiento de los datos de entrada, y métodos para la generación de los informes de resultados

Ejecución de la aplicación

Selección de ficheros de origen (Ilustración 14):

```
import pandas as pd
dfs= pd.read_excel("./ficheros/ASL_FQ_COMPLETO_2018.xls",sheet_name=0)
tipologias = pd.read_excel("./ficheros/Tipologias_Estaciones.xls", sheet_name=0)
```

Ruta del fichero de origen de los datos. fichero auxiliar.py

Ruta del fichero de Tipologías, necesario para la definición de las estaciones respecto a su masa y tipo de aguas.

Ilustración 14. Selección de ficheros de origen SeaQ.

Ejecución del programa

La ejecución de SeaQ en el IDE Spyder, se puede realizar desde el menú ejecutar, pulsando el botón “Ejecutar archivo” o la tecla F5, o desde la terminal, mediante la instrucción `runfile('Ruta del fichero seaQ.py' , wdir='Directorio de la aplicación seaQ')` (Ilustración 15).

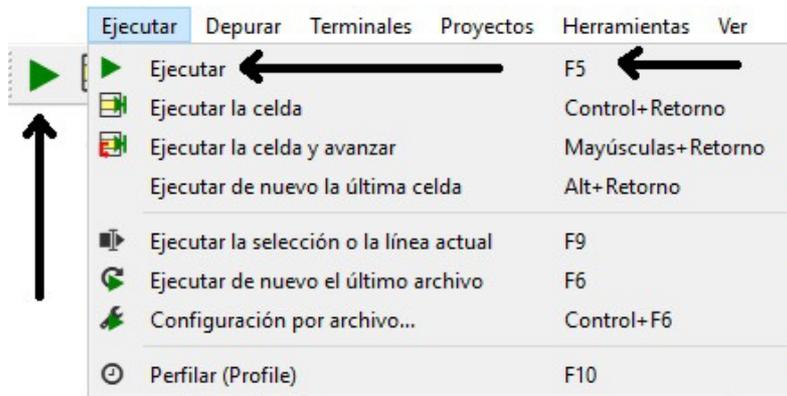
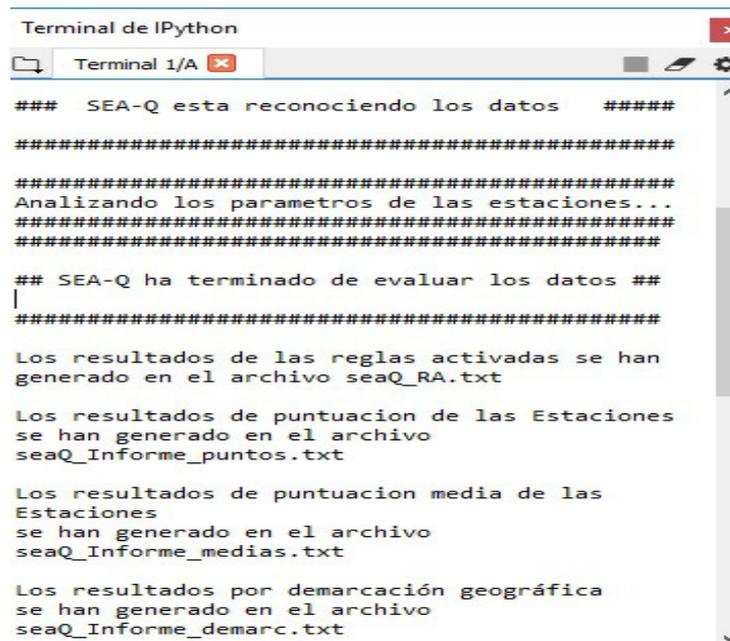


Ilustración 15. Ejecución del programa SeaQ en IDE Spyder.

Durante su ejecución, la aplicación muestra información sobre su estado en el terminal de Spyder (Ilustración 16).



```
Terminal de IPython
Terminal 1/A

### SEA-Q esta reconociendo los datos #####
#####
#####
Analizando los parametros de las estaciones...
#####
#####
## SEA-Q ha terminado de evaluar los datos ##
|
#####

Los resultados de las reglas activadas se han
generado en el archivo seaQ_RA.txt

Los resultados de puntuacion de las Estaciones
se han generado en el archivo
seaQ_Informe_puntos.txt

Los resultados de puntuacion media de las
Estaciones
se han generado en el archivo
seaQ_Informe_medias.txt

Los resultados por demarcación geográfica
se han generado en el archivo
seaQ_Informe_demarc.txt
```

Ilustración 16. Ejecución del programa SeaQ vista del terminal.

Ficheros de resultados

La aplicación SeaQ genera los informes de resultados en el directorio indicado en el apartado 4.1.

Se presentan fragmentos de los informes generados tras la evaluación de la calidad de las aguas del litoral atlántico andaluz durante el año 2018 (Ilustración 17). Dónde:

- Informe 1: seaQ_RA, que contiene todas las reglas activadas durante la ejecución del programa, organizadas por las estaciones de muestreo.
- Informe 2: seaQ_Informe_puntos, que presenta una clasificación de las estaciones de muestreo analizadas, en base a la puntuación obtenida por cada una de ellas.
- Informe 3: seaQ_Informe_medias, que contiene la clasificación de las estaciones de muestreo en base a la puntuación obtenida, relacionadas con el número de parámetros analizados en cada una de ellas.
- Informe 4: seaQ_Informe_demarc, que muestra la clasificación de las estaciones de muestreo, ordenadas por la demarcación hidrográfica a la que pertenecen.

Regla activada: Amonio
AT_T12
Cumple el límite de vertidos
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.93
Puntuación obtenida: 2

Regla activada: Mercurio Disuelto
No hay datos de media anual,Cumple NCA-CMA
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.01
Puntuación obtenida: 4

Regla activada: Endosulfan
Cumple NCA-CMA,Valor inferior a la media anual
Estación:
DESEMBOCADURA DEL GUADALETE 2
Valor del parámetro:0.0
Puntuación obtenida: 4

Informe 1

Nombre de la Estación:
PUERTO DE TARIFA (BOCANA EXTERIOR PUERTO)
Puntuación de la estación:91
Número de Parámetros:26
Puntuacion/Numero de Parámetros:
3.5

Demarcación hidrográfica:
GUADALETE Y BARBATE

Nombre de la Estación:
BASE NAVAL DE ROTA (FRENTE PLAYA DEL CHORRILLO)
Puntuación de la estación:93
Número de Parámetros:27
Puntuacion/Numero de Parámetros:
3.4444444444444446

Demarcación hidrográfica:
GUADALETE Y BARBATE

Informe 4

Nombre de la Estación:
DESEMBOCADURA GUADIANA (AYAMONTE) (2)
Puntuación de la estación:44
Número de Parámetros:11
Puntuacion/Numero de Parámetros:
4.0

Nombre de la Estación:
MARISMAS DE ISLA CRISTINA (3)
Puntuación de la estación:44
Número de Parámetros:11
Puntuacion/Numero de Parámetros:
4.0

Informe 3

Nombre de la Estación:
PUERTO DE CADIZ - BAHIA INTERNA DE CADIZ (3)
Puntuación de la estación:97
Número de Parámetros:29

Lista de parámetros:{"Nitritos": 0.022, "Tributilestaño": 0.001,
'Benzo_g_h_i_perileno': 0.01, 'Indeno_1_2_3_c_d_pireno': 0.01,
'Fosfatos': 0.004, 'Oxigeno_Disuelto_Superficie': 90.6,
'Oxigeno_Disuelto_Fondo': 90.52, 'pH_Superficie': 8.03, 'Nitratos':
0.57, 'Amonio': 0.12300000000000001, 'Nitrogeno_Total': 0.74,
'Cadmio_Disuelto': 0.05, 'Mercurio_Disuelto': 0.01, 'Endosulfan': 0.0,
'Endosulfan_beta': 0.00015, 'Endosulfan_alfa': 0.00015, 'Clorpirifos':
0.0004, 'Carbono_Organico_Total(COT)': 1.0, 'Fosforo_Total': 270.0,
'Nitrogeno_Kjeldahl': 304.0, 'Oxigeno_Disuelto_(in_situ)': 101.0,
'pH_(in_situ)': 8.14, 'Turbidez': 4.0, 'Hidrocarburos_Totales': 0.2,
'Plomo_Disuelto': 1.0, 'Terbutilazina': 0.05,
'Oxigeno_Disuelto_Secchi': 100.5, 'pH_Fondo': 7.9, 'pH_Secchi': 7.91}

Puntuacion/Numero de Parámetros:
3.3448275862068964

Informe 2

Ilustración 17. Fragmentos de los informes de resultados de SeaQ.

