

RESUMEN EN CASTELLANO

Título: Anthropogenic alteration of the nitrogen cycle in coastal waters: Case studies from the Mediterranean Sea and the Gulf of Mexico

Doctoranda: Regina Temiño Boes

Directores: Inmaculada Romero Gil y Rabindranarth Romero López

Programa de doctorado: Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes para la vida en la Tierra. Desafortunadamente, el desequilibrio provocado sobre el ciclo del N está causando daños importantes a muchos ecosistemas en todo el mundo. En aguas costeras los procesos del N se ven alterados por actividades antropogénicas tales como el uso excesivo de fertilizantes, el desarrollo urbano o la producción de energía, con consecuencias negativas para la biodiversidad o la salud humana, y podrían agravar los efectos del cambio climático. Sin embargo, los mecanismos por los cuales los seres humanos contribuyen este desequilibrio no se han estudiado en detalle y las consecuencias aún no se conocen con claridad.

El objetivo principal de esta investigación es contribuir a la evaluación de cómo la actividad antropogénica cambia la dinámica del N en aguas costeras. Como tal, se investigaron las actividades por las cuales se modifican los procesos del N, enfocando el estudio en cómo el ciclo del N es alterado en aguas costeras por la contaminación y el cambio climático. Con este propósito se seleccionaron dos lugares de estudio: la demarcación hidrográfica del Júcar (JRBD) en el Noroeste del Mar Mediterráneo (España) y la Región Hidrológica del Golfo Central (CGHR) en el Sur del Golfo de México (México). Cada uno de estos lugares tiene diferentes características ecológicas y socio-económicas, lo que permitió la evaluación de diferentes aspectos del nitrógeno.

La tesis se presenta como una colección de cuatro artículos de investigación, y cada artículo se centra en la evaluación de un aspecto específico del N en aguas costeras. De manera similar, a lo largo de los artículos se desarrollan diferentes herramientas de evaluación con la aplicación de diferentes técnicas, tales como un modelo biogeoquímico, redes neuronales artificiales y teoría de sistemas grises. Estas herramientas también son una contribución importante de la tesis, que podrían aplicarse en futuros estudios a otras regiones del mundo o en la evaluación de otros procesos del ciclo del N.

El primer artículo evalúa cómo la nitrificación en aguas costeras se ve alterada por las presiones antropogénicas y cerca de los asentamientos urbanos en el JRBD (Mar Mediterráneo). Mediante la aplicación de un modelo biogeoquímico simple que simula la dinámica del nitrito (compuesto intermedio) a nueve áreas costeras con características similares pero diferentes presiones, se evaluó el desacoplamiento de los dos pasos de la nitrificación. Las principales conclusiones indican que las presiones antropogénicas modifican los picos de nitrito observados en invierno debido a las bajas temperaturas. La investigación también concluye que el segundo paso de la nitrificación (transformación de nitrito a nitrato) es más sensible a la temperatura, lo que implica que el cambio climático puede contribuir al desacoplamiento de estos dos pasos.

El segundo artículo evalúa las tendencias futuras de las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) por el cambio climático en el JRBD (Mar Mediterráneo). El efecto de las variables meteorológicas en las concentraciones de NID se estudió mediante la aplicación de redes neuronales artificiales simples entrenadas con datos de campo. Se observaron tendencias decrecientes de las concentraciones de nitritos y nitratos a lo largo del siglo XXI tanto bajo el escenario climático RCP 4.5 como RCP 8.5, principalmente debido al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones, con cambios más significativos en invierno. Por otro lado, el amonio no mostró ninguna tendencia anual significativa, pero se observaron aumentos o disminuciones durante algunos meses.

En el tercer artículo se desarrolla un nuevo método basado en la teoría de los sistemas grises y la entropía de Shannon para obtener información útil sobre la contaminación por N en áreas donde los datos disponibles son limitados. El método se aplicó a ocho estuarios del CGHR (Golfo de México) asociados a manglares. Se desarrollaron dos índices: el índice gris de prioridad de gestión de nitrógeno (GNMP) y el índice gris de presión de uso de la tierra (GLUP). Los dos índices fueron comparados para validar la metodología. Los resultados indican que el desarrollo urbano sobre playas y manglares es la principal causa de la contaminación de N en el área de estudio.

El cuarto artículo es un análisis espacio-temporal de la contaminación de N a lo largo de dos ríos que desembocan en una zona turística costera del CGHR (Golfo de México) asociada a manglares. Mediante técnicas estadísticas como el análisis de cluster, la prueba de Mann-Kendall y la prueba W de Mann-Whitney, se realizó una evaluación del origen de la contaminación de N y las variaciones temporales de los compuestos de N. Los resultados concluyen que las concentraciones de N orgánico están aumentando a lo largo de la costa, y la principal fuente potencial identificada fue la descomposición de la especie invasora de jacintos de agua en aguas salinas, que ha cubierto completamente las playas y manglares circundantes potenciado por la contaminación de N.

El conjunto de la investigación concluye que tanto la contaminación como el cambio climático alteran el ciclo del N en aguas costeras al modificar elementos importantes del N como la nitrificación, las variaciones interanuales de las concentraciones de N o los ecosistemas costeros. Las diferencias en las características ecológicas y socioeconómicas de las dos zonas de estudio desempeñaron un papel decisivo en las presiones e impactos de las actividades antropogénicas, así como en los métodos que pueden usarse para evaluar la contaminación. Además, los métodos desarrollados, es decir, el modelo mecanicista para la evaluación de la nitrificación, el uso de redes neuronales artificiales para evaluar el impacto de las variables meteorológicas en los compuestos de N bajo el cambio climático y la metodología de sistemas grises desarrollada, pueden aplicarse a otras regiones costeras para evaluar la alteración antropogénica del ciclo del N a nivel mundial. Futuras investigaciones también deberían centrarse en la evaluación del impacto global de las actividades antropogénicas sobre el N en aguas costeras, incluidos todos los procesos involucrados en el ciclo del N. Finalmente, los efectos sobre la salud humana y los ecosistemas deben evaluarse detalladamente para proponer medidas de prevención y evitar llevar al sistema a un estado ambiental inestable con graves consecuencias.