



AVANCES EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE LOS EFLUENTES DE INDUSTRIAS DE URUGUAY

María José del Campo

Ministerio de Ambiente (MA), Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA). Es jefe del Departamento de Control Ambiental de Actividades desde el 2016 a la fecha. Es ingeniera química y tiene una maestría en ingeniería ambiental.



TEMA: relevamiento del estado de situación de las plantas de tratamiento con remoción de nutrientes en industrias de Uruguay

Dir.: Regidores 1321, Montevideo–Uruguay - Cel 096 724 367, e-mail: maria.delcampo@ambiente.gub.uy

RESUMEN

Se realizó un relevamiento de las industrias con relación a si su planta de tratamiento de efluente (PTE) cuenta con sistemas que permiten dar cumplimiento a los estándares de nitrógeno (N) y fósforo (P) de la normativa. Dicho relevamiento comprende a las 73 industrias que vierten a curso de agua, cuya suma de caudal corresponde al 99% del total descargado a curso. Resulta que, 48 industrias tienen PTE adecuada para cumplir el estándar de P; 44 industrias para cumplir con el estándar de amonio y 54 con el estándar de nitrato (cuando corresponde, ya que el nitrato no es exigido a todas las industrias). A los efectos de realizar el análisis en función del caudal y cargas de N y P de ingreso a la PTE, se descarta a aquellas industrias cuyos efluentes brutos no tienen N o P, y a las dos industrias de celulosa, ya que su excepcional caudal y cargas distorsiona la evaluación del resto, restringiéndose el análisis a las industrias que requieren de sistemas de remoción de nutrientes específicos, quedando un grupo de estudio de 62 industrias. Estas tienen un caudal total de efluente bruto de 73.300 m³/d, resultando lo siguiente: un 69% del caudal bruto con contenido de N y/o P, atraviesa una PTE que le permite dar cumplimiento a los estándares de P; un 63% dar cumplimiento al estándar de NH₄ y un 75% al estándar de NO₃. Análogamente, para el análisis de cargas de diseño de estas 62 industrias, se tiene que del total de 2.100 kg P/d contenidos en el efluente bruto, un 57% de la carga se deriva a una PTE adecuada para el cumplimiento del estándar de P; y del total de 12.000 kg N/d contenidos en el efluente bruto, se tiene que un 47% se deriva a una PTE adecuada para el cumplimiento del estándar de NH₄ y de NO₃. Se concluye que las industrias del Uruguay se encuentran en un proceso de adecuación de sus plantas de tratamiento, observándose una mejora significativa desde el año 2013, en el que había solo 4 industrias (2 de fabricación de celulosa y 2 curtiembres) que tenían instalados sistemas de remoción de nutrientes.

Palabras Clave (en negritas): efluentes industriales, tratamiento de efluentes, remoción de N y P

INTRODUCCIÓN

Es conocida la problemática a nivel mundial de la eutrofización de los cuerpos de agua y de sus efectos perjudiciales sobre la salud y el ambiente. La principal causa es el vertido de N y P ya sea por fuentes puntuales (industrias, saneamiento de ciudades, vertederos de residuos, tambos, establecimientos de cría intensiva da animales) como difusas (agricultura y ganadería). Esto ha llevado a que mundialmente se incrementen las exigencias ambientales en las actividades productivas, de manera de evitar la introducción de estos contaminantes en los cursos.

Uruguay no es ajeno a esta problemática, en los últimos años han ocurrido eventos de aparición de cianobacterias que afectaron directamente sobre los usos recreativos y de potabilización de los principales cuerpos de agua de nuestro país. En particular en el año 2013 ocurrió un Bloom de algas en el Río Santa Lucía, - principal fuente de abastecimiento de agua potable para una región de 1,5 millones de habitantes-, de mayor intensidad y prolongación en el tiempo de lo sucedido hasta ese entonces. Este evento potenció



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

que la autoridad ambiental¹ dispusiera una serie de drásticas medidas, que se incorporaron en la normativa ambiental del Uruguay, de alcance para todas las actividades con potencial afectación de descargar nitrógeno y fósforo, que se llamó el “Plan de Acción para la protección de la calidad ambiental y la potabilización de la Cuenca del Río Santa Lucía” (Plan de Acción, 2013).

Para las industrias, el Plan de Acción dispuso el efectivo cumplimiento de los estándares del decreto 253/79 ($\text{NH}_4 \leq 5 \text{ mg N/L}$ y $\text{P} \leq 5 \text{ mg/L}$), que hasta ese momento no se exigían, y promulgó la Resolución RM 966/2013 que estableció para ciertas industrias prioritarias, estándares adicionales para Nitrógeno Kjeldahl ($\text{NKT} \leq 10 \text{ mg N/L}$) y nitrato + nitrito ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 \leq 20 \text{ mg N/L}$). Esto implicó que las industrias alcanzadas debieran incorporar sistemas de remoción de nutrientes en sus plantas de tratamiento de efluentes (PTE).

En lo que refiere a las fuentes puntuales (industrias y saneamiento), las tecnologías que se utilizan internacionalmente para remoción de amonio (NH_4) se basan en el proceso de nitrificación en el cual se da la oxidación de amonio a nitrato (NO_3); y si se requiere una remoción completa de nitrógeno (N), es decir también eliminar el nitrato del efluente, debe incorporarse una etapa de desnitrificación. En el caso del fósforo (P) las tecnologías internacionales se basan en remoción biológica o precipitación química (Metcalf and Eddy, 2003) (ATV-A 131, 2001) (Lackner, y otros, 2014). Cabe resaltar la siguiente diferencia: mientras el cumplimiento del estándar de NH_4 del Dec. 253/79 requiere un tratamiento mediante nitrificación, el cumplimiento del estándar de NO_3 de la RM 966/2013 requiere de la nitrificación y desnitrificación, lo que implica incorporar una etapa adicional en el tratamiento.

En base a los estudios previos realizados en el convenio JICA - DINAMA (2011), el sector industrial aporta solo el 5% de las cargas de contaminación que alcanzan dicho río; el 15% es aportado por el saneamiento, y un 80% por cargas difusas. Un análisis rápido de dicha proporción podría derivar en una conclusión equivocada en cuanto las cargas de contaminación aportadas por las industrias no son significativas en comparación con las difusas. Sin embargo, las cargas puntuales implican un aporte localizado a un tramo de cuenca, en muchos casos la relación entre la carga del curso de agua (pequeña) y la carga de la fuente deriva en un incremento abrupto de la concentración del contaminante en el curso.

La aplicación del Plan de Acción de la cuenca del Río Santa Lucía, sustentado en la confirmación de que las tecnologías de remoción de nutrientes instaladas logran cumplir con los estándares establecidos en la normativa, fue un punto de inflexión en lo que refiere a las exigencias ambientales del Uruguay. Es así, que este proceso de adecuación de la gestión de efluentes se trasladó paulatinamente al resto del país; cabe indicar que en el año 2013 había solo 4 industrias que tenían sistemas de remoción de N y P (2 de fabricación de celulosa y 2 curtiembres). A casi 10 años de este cambio paradigmático, resulta interesante un relevamiento de los avances acontecidos en Uruguay.

OBJETIVO

Realizar un diagnóstico de la situación de las industrias de Uruguay que vierten a curso de agua, respecto a si sus plantas de tratamiento incluyen sistemas de remoción de amonio (nitrificación), nitrógeno (nitrificación/desnitrificación) y fósforo.

ALCANCE, CARACTERÍSTICAS y METODOLOGÍA DEL RELEVAMIENTO

Se analizaron las industrias que vierten a curso de agua, cuyo caudal de diseño del proyecto de ingeniería de la PTE aprobado en el trámite de Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial (SADI), en adelante “caudal” es mayor a $200 \text{ m}^3/\text{d}$. Se evaluó si la PTE de cada industria comprendida en el alcance, cuenta con sistemas y/o unidades para remover fósforo, amonio y nitrógeno, de forma tal que le permita dar

¹ En el 2013 la autoridad ambiental era el Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, en el 2020 se creó el Ministerio de Ambiente, y la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA), tomó la competencia específica en esta materia.



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

cumplimiento a la normativa incluyendo las exigencias particulares según corresponda. Debido a que el proceso de diseño, aprobación del proyecto por la autoridad ambiental (DINACEA) y construcción, de la planta de remoción del contaminante, se da en etapas consecutivas y conlleva cierta extensión en el tiempo, se entiende adecuado evaluar en categorías que informen sobre los avances en dicho proceso y no meramente una clasificación binaria (si/no) en cuanto a si la industria tiene planta construida para remover el contaminante. Para ello se propone las categorías de la Tabla 1.

Además, se definió un indicador tipo semáforo (verde, amarillo y rojo) con el objetivo de una evaluación rápida. Las categorías se agruparon en función de un estado "verde" que implica que la industria cuenta con sistema para remoción del contaminante que le permite el cumplimiento de la normativa; amarillo, que aún no cuenta, pero está encaminada en tener un sistema de remoción en un plazo definido, y roja, cuando aún no está determinado el plazo en que dicha industria adecúe su PTE para contar con remoción de amonio, nitrógeno o fósforo.

Tabla 1: Categorías definidas para describir si la industria cuenta o no con sistema de remoción de N o P y valoración según estado del semáforo

Categoría	Descripción	Estado
"si"	Cuenta con PTE que permite cumplimiento del estándar de N o P, construida y operando	Verde
"NC"	No corresponde remoción de N o P, dado que los efluentes brutos no tienen ese contaminante	Verde
"NE"	No exigida a contar con sistema de remoción de nitrato	Verde
"art 15"	cuenta con excepción en el cumplimiento de un estándar específico, amparada en el artículo 15 del Dec 253/79	Verde
"en PI"	proyecto aprobado por la autoridad ambiental (DINACEA) y en proceso de construcción con plazos definidos	amarillo
"pp"	está obligada a presentar un proyecto en un plazo definido	amarillo
"no"	aún no cuenta con exigencia explícita de presentar un proyecto	Rojo

La información para realizar la clasificación de cada industria se tomó de los trámites de SADI de cada una, consistiendo en la siguiente: estado del proyecto de la PTE (aprobado, en obras, etc), los plazos para presentación de nuevos proyectos y los estándares específicos que le rigen.

Para el relevamiento en función del caudal, se tomó el caudal de diseño del proyecto aprobado en la SADI, cabe aclarar que no es el que realmente vierte la industria, sino que la condición máxima en que puede operar la PTE. Además, estudiando el diagrama de flujo de cada SADI, se tomó el caudal que atraviesa el sistema de tratamiento con remoción del nutriente, excluyéndose el caudal de corrientes que no se derivan a dichos sistemas y se depuran en un sistema paralelo, caudal que en algunos casos pueden ser significativos.

Análogamente se realizó un relevamiento en función de las cargas de nitrógeno y fósforo de diseño del proyecto de la PTE. Esta información también se tomó del trámite de SADI de cada industria y en los pocos casos en los que no había sido declarado, se tomó de los reportes de desempeño de la PTE, denominado Informe Ambiental de Operación, para el año 2021. Hubo 5 industrias para los que no se tenía datos de cargas de contaminantes de entrada, ni en la SADI ni el IAO, para estas, se tomó el valor medio del rango de cargas vertidas por las industrias de ese rubro, ponderado por el caudal.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización de las industrias



Dado el alcance definido, con caudal mayor a 200 m³/d, quedan incluidas 73 de un total de 230-250 que vierten a curso de agua. La distribución por rubro de producción, agrupadas según si el efluente tiene N y/o P, se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Grupo de estudio, cantidad por rubro, clasificadas según si el efluente tiene contenido de N y/o P

Industrias cuyos efluentes tiene N y/o P		Industrias cuyos efluentes no tienen N y/o P	
Rubro	cantidad		
Cárnicas	29	Elaboración de azúcar	2
Lácteas	10	Aserradero y generación energía a partir biomasa	2
Alimentos	7	Distribución combustible	2
Cervecería y maltería	4	Generación energía eléctrica a partir de gas oil	2
Curtiembre	4	Fabricación de cemento	1
Bebidas	3	TOTAL	9
Cárnicas, subproductos	3		
papel reciclado	2		
Celulosa	2		
Química (refinería y bioetanol)	2		
TOTAL	64		

Cabe indicar que al menos 5 industrias que inicialmente estaban incluidas en el grupo de estudio, en este período (2013 al presente) modificaron su gestión de efluentes, de manera de realizar vertido por riego en vez de a curso de agua, y la razón fue utilizar las propiedades fertilizantes de estos contaminantes mediante riego, en vez de incorporar plantas de tratamiento con remoción de nutrientes.

Relevamiento por cantidad de industrias

El estado de situación de las industrias, respecto a si cuentan con planta de tratamiento que le permita cumplir con los estándares de P, NH₄ y NO₃, se muestra en la Figura 1.

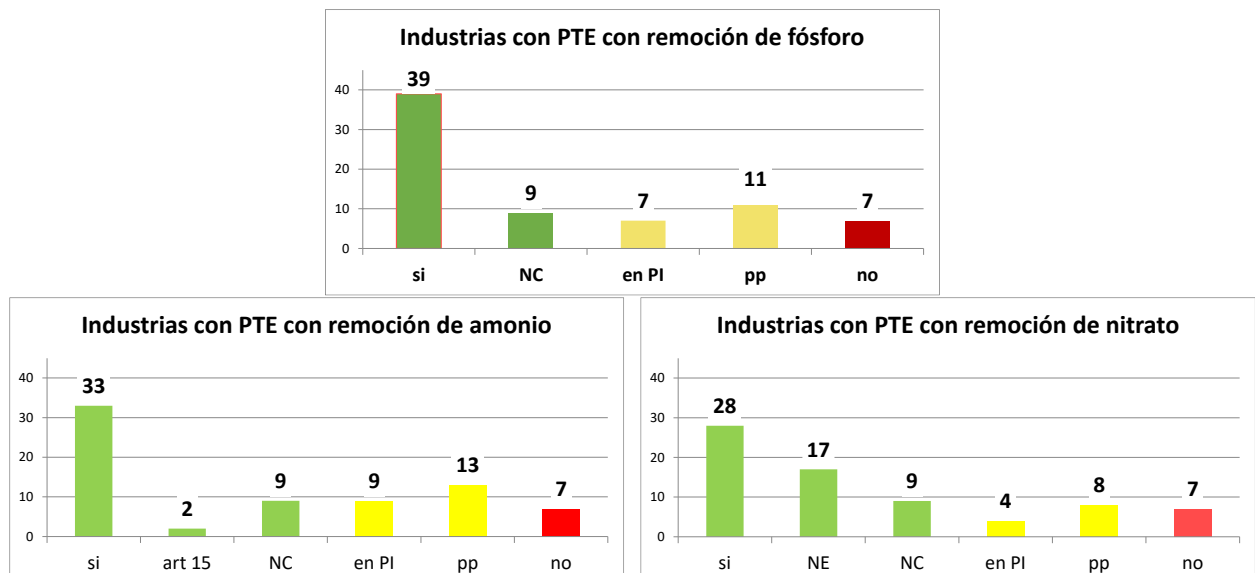


Figura 1: Situación de las industrias respecto si cuentan con PTE con: a) remoción de P (arriba); b) remoción de amonio (abajo izq) y c) nitrógeno (abajo der)



Si se estudia la Fig. 1, comparando cada categoría secuencialmente en las gráficas 1a), 1b) y 1c), se observa que, (haciendo la suma del semáforo verde para cada gráfica 1a), 1b) y 1c)), en el total de 73 industrias: 48, 44 y 54 cuentan con PTE adecuada para dar cumplimiento a los estándares de P, NH₄ y NO₃ respectivamente. **De estas, han adecuado su PTE, construyendo unidades o sistemas de tratamiento para cumplir el estándar de P, NH₄ y NO₃: una cantidad de 39, 33 y 28 industrias. Es significativa esta última terna, si se compara con la situación en el año 2013, que solo 4 industrias tenían** sistemas específicos para tratamiento de estos contaminantes. Además, se puede observar (semáforo rojo en cada gráfica 1a), 1b) y 1c), que 7 de 73 industrias aún no se han encaminado en la adecuación de sus PTEs. Previo a valorar, el hecho de que 7 industrias se encuentren en un estado de semáforo rojo se entiende que es más representativo evaluar la situación en función del caudal y cargas que representan, ya que como se demostrará más adelante, son industrias pequeñas, por lo que la afectación ambiental es menor.

Es interesante evaluar para cada categoría definida, cuáles son los rubros industriales que la componen. Se encuentra que todas las industrias de los siguientes rubros: celulosa, cervecera y maltería, subproductos cárnicos, química y papel reciclado, ya cuentan con PTE construida y operando, que permite cumplir con el estándar de N o P. Por otro lado, en la categoría “aún no están encaminadas” (rojo) hay frigoríficos y lácteas; y en las categorías que “están en proceso de encaminarse” (amarillo), corresponde sobre todo a frigoríficos, alguna alimenticia y alguna curtiembre.

Relevamiento por caudal y cargas de diseño de la PTE

La situación en función del caudal se puede observar en la figura 2 y en función de las cargas se presenta en la figura 3. Tal como se mencionó en el apartado metodología, para la evaluación a continuación, se descartaron las industrias que no tienen P o N en sus efluentes y a las dos de celulosa que por su alto caudal y cargas distorsionan el análisis.

En el relevamiento por caudal (Fig. 2), se observa de arriba hacia abajo, correlativamente en cada gráfica, un 69% (50.900 m³/d), 63% (46.400 m³/d) y 75% (52.200 m³/d) del caudal de efluentes que contienen P y N, se deriva a plantas de tratamiento que permiten el cumplimiento de la normativa (verde), y solo un 5% de dicho efluente, aún no está encaminado en derivarse a PTE que les permita cumplir con la normativa (rojo). Por otra parte, si se compara la situación actual, un caudal de **50.900 m³/d (de efluentes que contienen P) y 40.800 m³/d (de efluentes que contienen NH₄)** atraviesan plantas de tratamiento ya construidas, cuyo diseño permite cumplir los estándares de P y N; caudal significativamente superior, si se compara con la situación del 2013 en el que las 2 industrias que contaban con sistema de remoción de nutrientes, cuyo caudal sumaba **1360 m³/d**. (las dos industrias de celulosa no están contabilizadas).

Realizando un análisis similar, para las cargas de diseño del efluente bruto (Fig. 3) se observa de arriba hacia abajo, un **57% (1.200 kg P/d)**, **47% (4.700kg N/d)** y **62% (4.200kg N/d)** atraviesan PTEs cuyo diseño permite cumplir con la normativa para P, NH₄ y NO₃. También se observa un avance significativo cuando se compara la situación actual con la anterior al 2013, dado que antes, solo **32 kg P/d y 95 kg N/d** se derivaban a plantas con remoción de nutrientes (también se excluyó de la suma a las plantas de celulosa).

Por otra parte, una proporción de 5% (100kg P/d) y 4% (500kg N/d), aún no se ha encaminado en que se deriven a planta de tratamiento con remoción de P y N respectivamente.

En términos generales, se observa una mejor situación para el parámetro fósforo, dado que es más fácil la implementación de unidades o sistemas para alcanzar su cumplimiento, sin embargo, es una diferencia pequeña, y la razón es que la mayoría de los rubros que conforman el grupo de estudio, tienen ambos tipos de contaminantes en sus efluentes, y al momento de adecuar sus plantas de tratamiento, han implementado sistemas o unidades para remover todos los nutrientes.

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

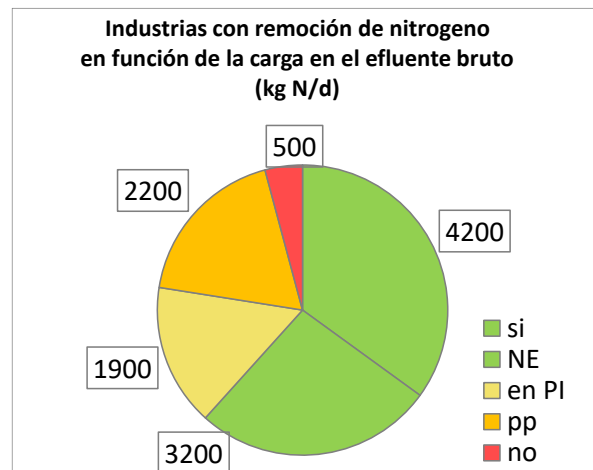
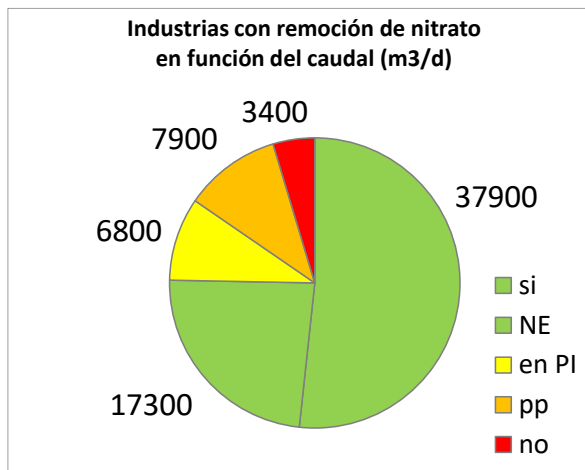
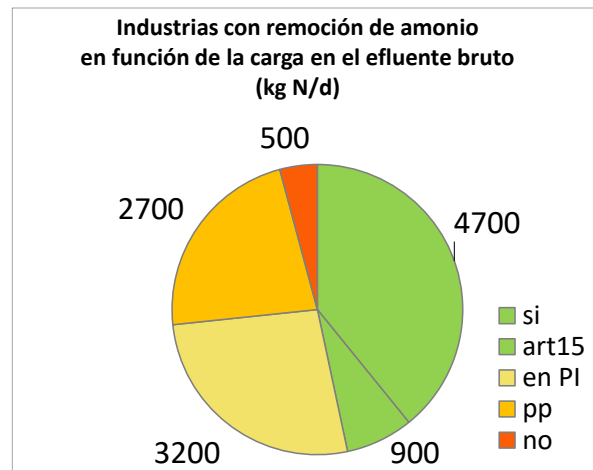
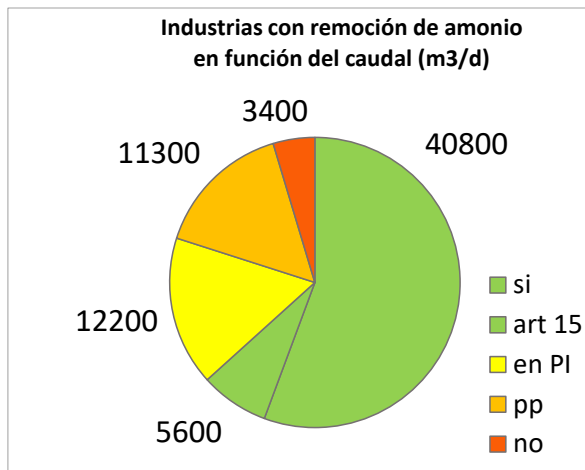
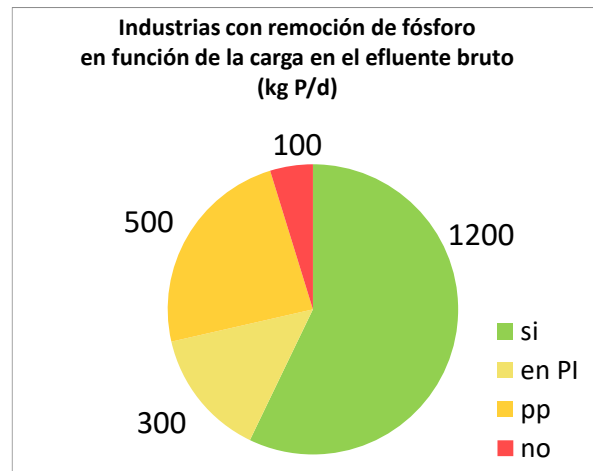
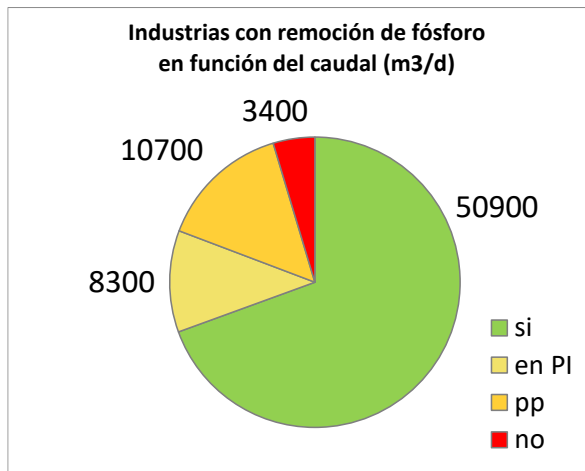


Figura 1: Situación de las industrias respecto si cuentan con PTE con: remoción de P (arriba), amonio (medio), nitrógeno (abajo), en función del caudal de efluente bruto

Figura 2: Situación de las industrias respecto si cuentan con PTE con: remoción de P (arriba); remoción de amonio (medio) y remoción de nitrógeno (abajo), en función de la carga de P o N en el efluente bruto

Por otra parte, es interesante analizar el estado de situación para los rubros frigoríficos y lácteos, dado que son los dos rubros con mayor cantidad de industrias (29 y 10 respectivamente), y las 7 industrias que aún no se han encaminado pertenecen a estos rubros. En la Figura 4 a continuación se muestra el análisis para cada sector.

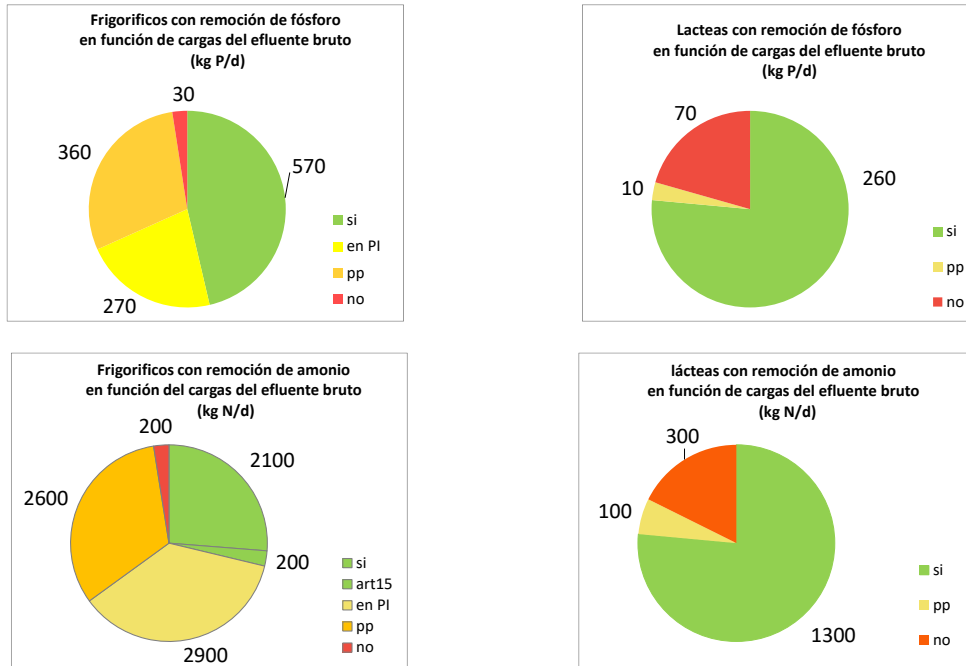


Figura 4: relevamiento en función de: a) carga de P para los frigoríficos (arriba izq); b) carga de P para las lácteas (arriba der); c) carga de N para frigoríficos (abajo-izq) y d) carga de N para las lácteas (abajo-der).

Para el sector lácteo, comparando en la Fig 4 las gráficas b) y d), se observa que una gran proporción de cargas tanto de P como N atraviesan PTE construidas que les permite cumplir con la normativa (verde). En cambio, para frigoríficos, gráficas a) y c), se observa que una proporción de cargas de P y N, se encuentran encaminadas en la construcción de una PTE para el tratamiento de estos contaminantes, pero aún no cumplen (amarillo) o todavía no se encuentran encaminadas (rojo). Esto verifica lo anteriormente indicado, que la mayoría de las industrias en estado amarillo de la Figura 1, corresponden a dicho rubro.

CONCLUSIONES

Se concluye que las industrias del Uruguay se encuentran en un proceso de adecuación de sus plantas de tratamiento, observándose una mejora significativa desde el año 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JICA - DINAMA. (2011). *Proyecto sobre control de contaminación y gestión de la calidad de agua en la Cuenca del Río Santa Lucía (Informe principal)*.
- ATV-A 131. (2001). *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen (Diseño de Plantas de Lodos Activados de una sola etapa)*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser.
- del Campo, M. (2018). *Sistemas de tratamiento de remoción de nitrógeno y fósforo, de efluentes de industrias de la cuenca del Río Santa Lucía*. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/29392>.



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



Lackner, S., Gilbert, E., Vlaemick, S., Joss, A., Horn, H., & Van Loodsdrecht, M. (2014). Full-scale partial nitritation/anammox experiences- An application survey. *Water Research*, 292-303.

Metcalfe and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Fourth Edition ed.). New York City: McGraw Hill.

Plan de Acción. (2013). *Presentación del plan para la preservación de la potabilización y calidad ambiental de la cuenca del Río Santa Lucía*. Recuperado el noviembre de 2018, de MVOTMA-DINAMA: http://mvotma.gub.uy/images/santa_lucia/Presentaci%C3%B3n%20StaLucia%20220513.pdf