

## REDUCCIÓN DE CARGAS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LOS VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS PRIORIDAD 1 DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA

### María José del Campo (\*)

Ingeniera Química (2001). Trabaja en el Departamento de Control Ambiental de Actividades (DCAA) de DINAMA y lidera en el DCAA el equipo de técnicos encargados de la implementación de la Medida 1 del “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía” (en adelante el “Plan de acción”).



(\*) Regidores 1321, Montevideo, Uruguay- Código Postal 11700 –Tel.096 724 367 –  
e-mail: [maria.delcampo@mvtoma.gub.uy](mailto:maria.delcampo@mvtoma.gub.uy)

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo exponer las distintas componentes que forman parte de la Medida 1 del “Plan de acción”: su concepción y planificación, las acciones realizadas para el seguimiento, y el estado de avance de la misma. Siguiendo cierto orden cronológico en la planificación y desarrollo de la medida, se presenta:

- a. La Medida 1, su objetivo, alcance y una justificación técnica de los estándares que establece, así como de las industrias clasificadas como prioridad 1 y 2.
- b. La línea de base de los vertidos industriales al año 2012, realizando un análisis de los vertidos de cargas (kg DBO/día, kg Ntot/día y kg Ptot/día) por sector industrial y por sub-cuenca
- c. Las acciones tomadas por las industrias para dar cumplimiento a lo dispuesto en la Medida 1, y el estado de situación actual.
- d. Las mejoras previstas, en base a los sistemas de tratamiento presentados, en las cargas puntuales vertidas por las industrias; realizando un análisis por sector industrial, y por sub-cuenca.

**Palabras Clave (en negritas):** cargas, Cuenca Santa Lucía, efluentes, nutrientes, tratamiento.

### INTRODUCCION

En abril del 2013 un bloom de algas en la represa que constituye la reserva para toma de agua potable para gran parte de la población, confirió al agua un olor y sabor desagradable lo que tuvo gran repercusión pública. Este evento desencadenó una serie de acciones, entre ellas DINAMA elaboró un plan de acción denominado “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía” (en adelante Plan de Acción CRSL), el cual tiene 11 medidas cuyo objetivo es reducir la contaminación ambiental en los distintos sectores de actividad : industrias, tambos, engordes a corral, plantas de saneamiento, cultivos cercanos a la ribera de ciertos ríos, abrevadero de animales directo en ciertos cuerpos de agua, entre otros.

### MEDIDA 1

#### Presentación de la medida, objetivo y alcance

La Medida 1 comprende a las industrias. Su objetivo es reducir el impacto de las emisiones líquidas de los vertimientos de origen industrial.

La misma dispone la “Implementación de un programa sectorial de mejora del cumplimiento ambiental de vertimientos de origen industrial en toda la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de DBO, nitrógeno y fósforo.”

Como acción previa a establecer la Medida 1, debió evaluarse cuáles eran las industrias relevantes para exigir la eliminación de nutrientes, dado que no todas las industrias son significativas desde el punto de

vista de las cargas de materia orgánica y nutrientes vertidas a la cuenca; por ejemplo, el efluente de algunos ramos industriales no contiene estos contaminantes, o alguna industria vierte sus efluentes a la planta de tratamiento de un tercero. Por tal motivo, y luego de un análisis de las cargas de vertido, se establecieron dos categorías: industrias de prioridad 1 y 2.

Por lo tanto la Medida 1 cuenta con las siguientes componentes:

En relación a las industrias prioridad 1:

- i) Establece **exigencias adicionales** a las dispuestas en el Dec 253/79; incluyendo:
  - Estándares adicionales de nitrógeno cuando el vertido de efluentes es a curso de agua (nitrógeno kjeldahl < 10 mg/l y nitrato < 20 mg/l), y
  - Estándares adicionales de nitrógeno y fósforo cuando el vertido es a saneamiento (nitrógeno kjeldahl < 50 mg/l y fósforo total < 10 mg/l);
  - Una serie de condiciones adicionales para la disposición de efluente a terreno (enumeradas en lo que se denomina Plan de disposición de efluentes a terreno).
- ii) Dispone que las industrias clasificadas como prioridad 1 presenten nuevos proyectos de ingeniería con tratamiento para remoción de nutrientes, y establece un plazo para la finalización de las obras relativas a la PTE, de manera de cumplir con estos estándares adicionales.

En relación a las industrias prioridad 2:

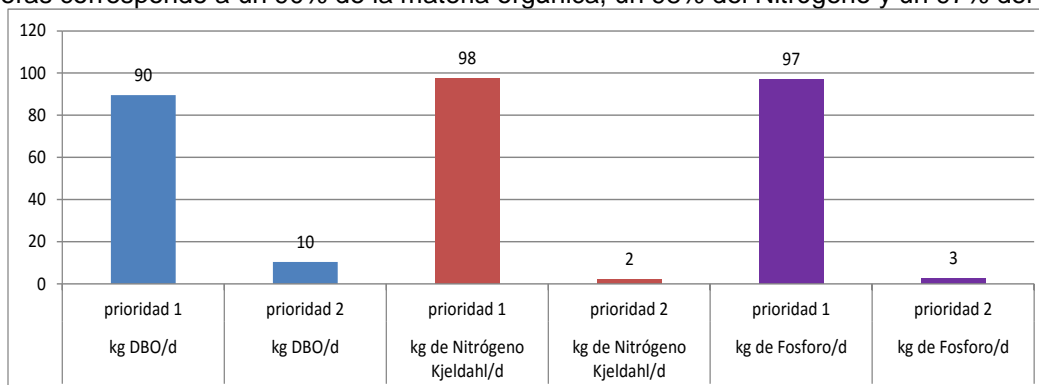
- iii) Establece que estos emprendimientos deben dar cumplimiento a los estándares del Dec 253/79, para cuyo caso, si fuera necesario deben presentar nuevos proyectos de ingeniería.

La Medida 1 se concretó en la promulgación de dos resoluciones: la RM 966/13 de julio de 2013, que estableció a las industrias de prioridad 1, un plazo a diciembre de 2013 para presentar los proyectos de ingeniería para remoción de nutrientes y un plazo a enero de 2015 para tener las plantas de tratamiento construidas y operativas a los efectos de cumplir con los estándares adicionales en el vertido; y la RM 212/15 de febrero de 2015 que estableció nuevos plazos para la finalización de las obras, plazos diferenciados dependiendo de factores específicos para cada industria, a mayo, setiembre y diciembre de 2015.

En relación a las industrias prioridad 2, considerando el aporte no significativo de cargas de materia orgánica y nutrientes, se ha verificado el cumplimiento de la misma caso a caso, mediante inspecciones y análisis de los informes de desempeño que se presentan a DINAMA (Informe Ambiental de Operación), y se ha exigido nuevos proyectos con sistema de remoción de nutrientes en los casos que correspondieran.

**Criterios de clasificación de las industrias en prioridad 1 o 2**

En la gráfica a continuación, se puede observar que la proporción de cargas vertidas por las industrias prioridad 1 es significativamente mayor que las industrias categorizadas como prioridad 2; el vertido de las primeras corresponde a un 90% de la materia orgánica, un 98% del Nitrógeno y un 97% del Fósforo.



Gráfica1: comparación entre las cargas vertidas por las industrias prioridad 1 y 2, para DBO5, nitrógeno kjeldahl y fósforo para el año 2012.

### Justificación de los estándares adicionales de nitrógeno que se exigen a los vertidos a cuerpo de agua en la RM 966/13

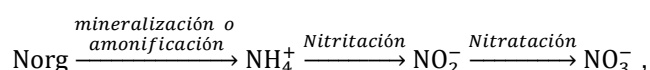
El Dec 253/79 prevé estándar de vertido para el Nitrógeno amoniacal. Sin embargo, cuando se realiza un análisis las especies de nitrógeno que pueden alcanzar los cuerpos de agua, y las transformaciones posteriores en dicho cuerpo, se observa que otras formas de nitrógeno también son perjudiciales a los cursos, ya sea por sí mismas, o porque se transforman en otras que lo son; y por lo tanto deben ser controladas.

En lo que refiere a las especies vertidas a los cursos de agua, cabe señalar que los efluentes industriales brutos pueden contener nitrógeno en cualquiera de las siguientes formas: nitrógeno orgánico (Norg), nitrógeno amoniacal  $N_{amoniacal}$  (compuesto por amoníaco ( $NH_3$ ), que se encuentra en equilibrio con el ion amonio ( $NH_4^+$ )), nitrato ( $NO_3^-$ ) y nitrito ( $NO_2^-$ ). La/s especie/s que contenga el efluente vertido, dependerá del proceso que origine dichos efluentes, de las condiciones del medio, y el tratamiento que se someta a los mismos, que favorecerán la transformación en una especie u otra.

En la siguiente ecuación se representa las equivalencias entre las especies de nitrógeno:

$$N_{tot} = N_{orgánico} + N_{inorgánico} = N_{orgánico} + N_{amoniacal} + N_{NO_3} + N_{NO_2} = NKT + N_{NO_3} + N_{NO_2}$$

Además debe considerarse que en aguas naturales, el nitrógeno sigue el siguiente proceso de degradación bacteriana



Por lo tanto, debe controlarse el nitrógeno total; sin dejar de controlar el amoniacal, dado la toxicidad del amoníaco para los microorganismos acuáticos.

Tal como se mencionó, la normativa solo prevé estándar para el Nitrógeno amoniacal. Esta carencia había sido abordada anteriormente por el Grupo Gesta Agua que planteó las modificaciones al dec 253/79, proponiéndose estándares para NKT y  $(N_{NO_3} + N_{NO_2})$ , de manera de limitar el Nitrógeno total. Esta referencia técnica fue la que tomó la RM 966/13.

El hecho de plantear las especies de NKT y  $(N_{NO_3} + N_{NO_2})$  en vez de  $N_{total}$ , fue por un tema de capacidad analítica del país, y de la facilidad de las técnicas para determinación de las primeras especies, respecto a la determinación de  $N_{total}$ . Por otra parte, los valores planteados están en consonancia con la normativa internacional.

### LÍNEA DE BASE DE LOS VERTIDOS DEL SECTOR INDUSTRIAL

La línea de base consiste en un diagnóstico de la situación del sector en cuanto a cantidad de industrias, su ubicación, el tipo de vertido, los ramos en que se distribuyen, y fundamentalmente cuantifica las cargas contaminantes que vierten las mismas (kg DBO/día, kg Ntot/día y kg Ptot/día).

El conocimiento de las cargas del sector permitió determinar el grupo de industrias relevantes de las que no lo son (prioridad 1 y 2); permitirá el seguimiento sectorial a lo largo del tiempo de la efectividad de las acciones que se tomen, y por otra parte aporta elementos para determinar el peso que tienen los vertidos industriales en comparación con otras fuentes de contaminación.

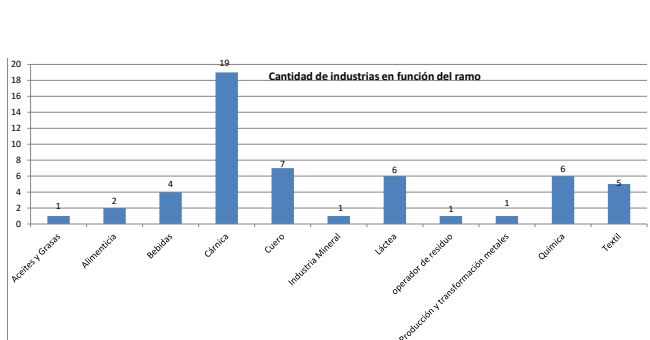
En el año 2012 funcionaron un total de 53 industrias. Este valor corresponde a las industrias que cuentan con trámite de Autorización de Desagüe Industrial (SADI), es decir aquellas que generan efluentes de su actividad; no están contabilizadas las industrias que no generan efluentes, las cuales no son relevantes desde el punto de vista del Plan de Acción de la CRSL.

En función de los niveles de producción, la ubicación, el caudal de efluentes y cargas vertidas de materia orgánica y nutrientes, la División Control y Desempeño Ambiental (DCDA<sup>1</sup>) determinó 24 industrias prioritarias.

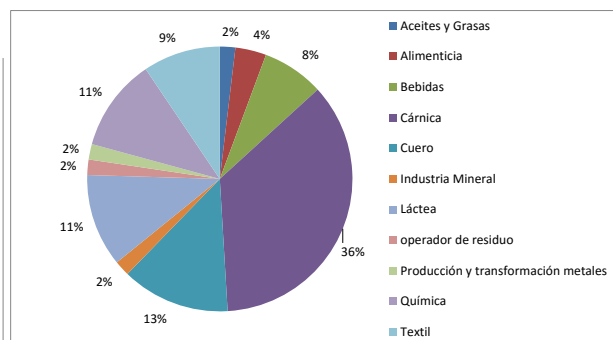
Industrias	Cantidad
Prioridad 1	24
Prioridad 2	29
TOTAL	53

### Análisis de los ramos industriales que conforman el sector industrial de la cuenca

En las dos gráficas que se presentan a continuación, se observa la distribución de las 53 industrias por ramo. El 36% de las industrias son cárnicas, el 11% lácteas, el 13% curtiembres y el 11% químicas.

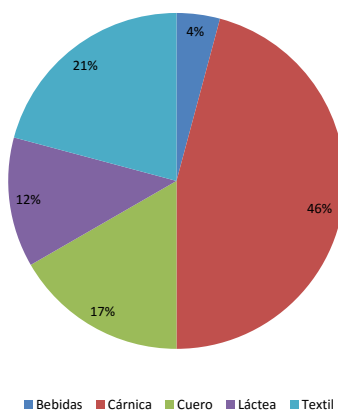


Gráfica 2: cantidad de industrias por ramo



Gráfica 3: porcentaje que representa cada ramo industrial en el total de las industrias de la cuenca

Si en cambio se realiza un análisis de los ramos que conforman las industrias prioridad 1, la proporción varía, encontrándose aquellas industrias que tienen mayor cantidad de fósforo y nitrógeno en los efluentes: el sector cárnico es el que tiene más establecimientos, un 46% del total (frigoríficos, mataderos de aves y graserías), le sigue el lácteo, las curtiembres y los lavaderos de lana (textiles)

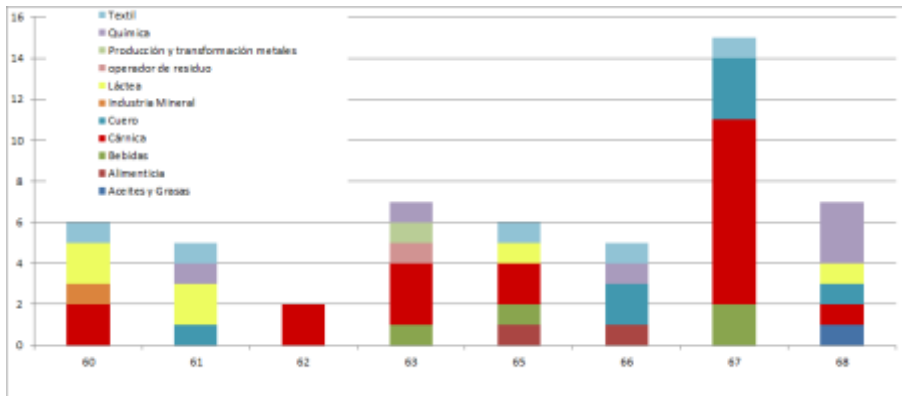


Gráfica 4: Porcentaje que representa cada ramo industrial, en las 24 industrias prioridad 1

### Análisis de la ubicación de las industrias por subcuenca

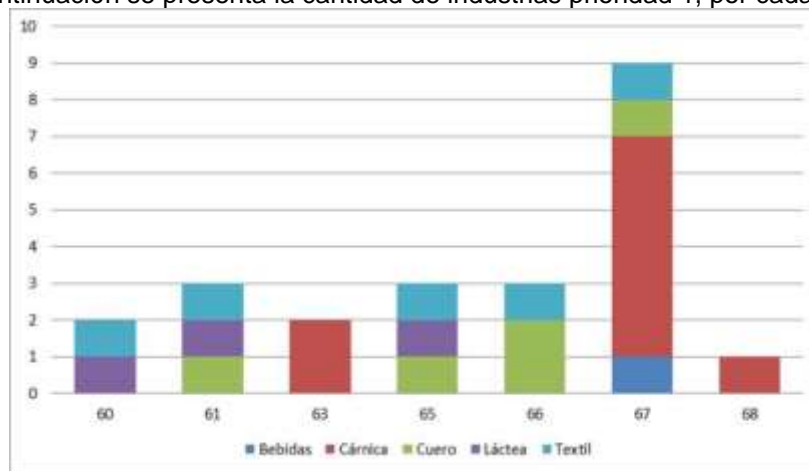
En la gráfica a continuación se presenta la cantidad de industrias por cada sub-cuenca, clasificadas según el ramo industrial.

<sup>1</sup> Actual División Control Ambiental de Actividades (DCAA) de DINAMA, desde la re-estructura de 2014



Gráfica 5 – ubicación de industrias por sub-cuenca, para el total de industrias de la cuenca

En la gráfica a continuación se presenta la cantidad de industrias prioridad 1, por cada sub-cuenca

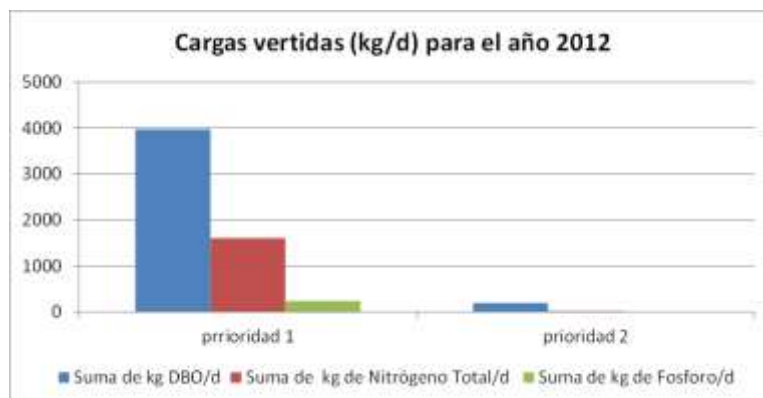


Gráfica 6 – ubicación de industrias prioridad 1 por sub-cuenca

Se observa que la mayor cantidad de industrias se encuentran en la sub-cuenca 67-Arroyo Colorado (9 industrias) y le siguen la 61-Río Santa Lucía Chico y la 65- Río San José (ambas con 4 industrias cada una).

### Análisis de los efluentes vertidos por el sector industrial en función del tipo de vertido

En la gráfica a continuación se observa las cargas vertidas de materia orgánica, Nitrógeno y Fósforo para todas las industrias de la cuenca, clasificadas según la prioridad. En primer lugar se verifica la afirmación realizada, que las industrias prioridad 1 vierten más del 90% de la carga de contaminantes.



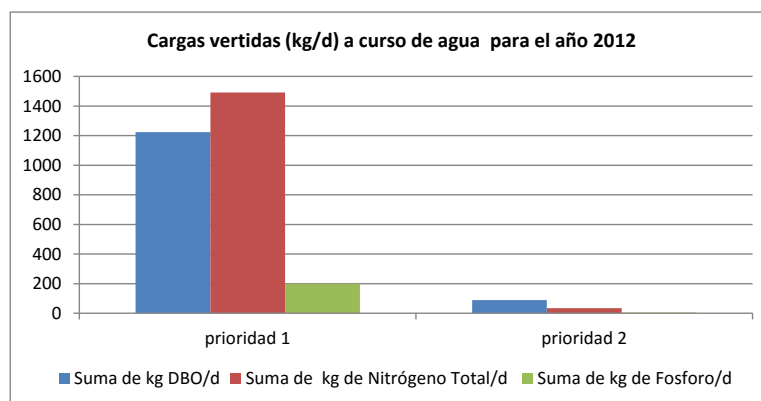
Gráfica 7: Carga de contaminación vertida por el total de industrias de la cuenca – clasificadas según prioridad 1 o 2-

Se observa para este grupo, que la carga de DBO es aproximadamente 4.000 kg/día, la de nitrógeno total de 1.600 kg/día, y la de fósforo de 250 kg/día. Cabe resaltar que en esta gráfica están todas las industrias (53) que funcionaron en el año 2012, incluyendo todos los tipos de vertido del efluente (curso de agua, saneamiento, infiltración)

Un análisis del total de cargas vertidas es ilustrativo y necesario a los efectos de contar con un estado de situación; sin embargo, si se requiere analizar los efectos locales, la afectación a los cursos de agua, o el efecto de la densidad de industrias en una cuenca, es necesario especificar el tipo de vertido y realizar análisis en los cuales se tenga en cuenta la ubicación de la industria (a nivel de micro-cuenca). Estos análisis se realizaron en el informe de línea de base, y se presentan más abajo algunos ejemplos ilustrativos.

### **Análisis de los vertidos a curso de agua**

Se realiza el análisis para las industrias de prioridad 1, dado que, como se mostró precedentemente, el vertido de las de prioridad 2 no es significativo respecto a las primeras. Son 20 las industrias prioridad 1 que vertieron a curso de agua.



Gráfica 8: Carga de contaminación vertida por industrias que descargan a curso de agua, clasificadas según prioridad 1 o 2.

Se observa que la carga de DBO y de nitrógeno vertidas son similares. Si se vuelve a la gráfica 7 anterior (que incluye a todos los tipos de vertido), la carga de DBO vertida era 4 veces mayor que la de nitrógeno. La razón es que cuando el vertido es a curso de agua está limitada la concentración de materia orgánica a verter, y las plantas de tratamiento de estas industrias remueven más del 90% de materia orgánica; en cambio prácticamente no remueven nitrógeno (entre 10 a 20%).

Cabe mencionar que también se hizo un análisis de la situación para vertido a terreno y a saneamiento; pero no se profundizará en los mismos por falta de espacio.

## **ACCIONES TOMADAS POR LAS INDUSTRIAS PARA DAR CUMPLIMIENTO A LA MEDIDA 1**

### **Presentación de proyectos de ingeniería con sistemas de remoción de nutrientes**

Es importante destacar que para remover nitrógeno y fósforo de los efluentes, en la mayoría de los casos se requiere sistemas adicionales a los que convencionalmente se utilizan. Estos sistemas implican un salto tanto en tecnología como en las inversiones en infraestructura y equipos; y para su operación se requiere nuevos controles operativos continuos y por ende personal técnico capacitado y asignado a estas tareas. En Uruguay había hasta el momento de la promulgación de la Medida 1, escasos antecedentes de plantas de tratamiento con sistemas de remoción de nutrientes funcionando, y por ende, había poca experiencia desarrollada en el tema, en las condiciones de funcionamiento, en las condiciones en su operación y control, y en las opciones para elegir uno u otro sistema de remoción de nutrientes.

Sin perjuicio de lo anterior, 23 de las 24 industrias (una dejó de operar), presentaron los proyectos de ingeniería en el plazo establecido de diciembre de 2013. Cabe destacar que cumplir con los plazos de presentación consistió en un trabajo intenso para estas empresas, porque con anterioridad a la definición del proyecto, los técnicos del sector tuvieron que adquirir conocimientos sobre nuevos sistemas de tratamiento, definir la entidad de las inversiones, y plantear además, sistemas de tratamiento cuyas obras pudieran concretarse en el plazo establecido, y cuya construcción se pudiera acompañar a la operación de la planta industrial que seguiría trabajando y por ende generando efluentes.

### **Mejora y adecuación de los proyectos presentados**

En el estudio y análisis surgieron necesidades de trabajo que prolongaron los tiempos asociados a la aprobación de los Proyectos de Ingeniería.

El estudio mismo de los proyectos consistió en un aprendizaje y una mejora de los proyectos inicialmente planteados, aspecto que se logró mediante la interacción e intercambio entre el sector industrial, los técnicos de DINAMA y un consultor contratado por DINAMA (Ing. Álvaro Carozzi), experto en remoción de nutrientes, que ha diseñado y operado este tipo de sistemas en Europa durante 30 años.

Por los motivos expuestos, el MVOTMA priorizó el ajuste y la mejora de los proyectos de ingeniería inicialmente presentados, sobre la base que es indispensable un diseño conceptual correcto, para que la operación de los sistemas de tratamiento sea exitosa, y considerando la dilación debido a la re-definición de los proyectos de ingeniería, otorgó nuevos plazos para la finalización de las obras relativas a los mismos, lo cual se efectivizó en la Resolución Ministerial RM 212/2015.

Al presente se tiene que 19 industrias tienen el proyecto de ingeniería aprobado, 4 en vías de aprobación. En el proceso de aprobación se rechazaron 12 proyectos de ingeniería (al 19 de julio 2015).

En lo que refiere a la finalización de las obras relativas a los sistemas de tratamiento, varias de ellas no cumplieron el plazo establecido, siendo sancionadas; a setiembre 2015, en términos generales, aquellas cuyos plazos se cumplieron, finalizaron la construcción.

### **Aspectos técnicos de los sistemas de remoción de nutrientes a implementar por las industrias prioridad 1**

Todas las industrias propusieron sistemas en los cuales la remoción de nitrógeno se basa en los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación; y la remoción de fósforo se basa en la incorporación bioaumentada y/o la precipitación físico-química con sales de aluminio y hierro.

Cabe destacar que los tratamientos propuestos se basan *todos* en Sistemas de Lodos Activados (SLA), o en Secuencial Batch Reactor (SBR). Aquellas industrias que implementaron remoción biológica de fósforo lo hicieron mediante la incorporación de selectores anaerobios previo al reactor biológico (de nitrificación/desnitrificación); y todas las industrias implementaron remoción físico-química de fósforo mediante el agregado de sales de aluminio y hierro, dicho agregado se propuso en varios lugares: a la entrada o salida del reactor biológico, en el sedimentador secundario, o en las corrientes de recirculación, tanto de barros como de efluente con nitratos.

El hecho que todas las industrias presentaran estos sistemas de tratamiento para remoción de nutrientes, no sorprende, dado que es una tecnología que se ha impuesto a nivel mundial.

En este punto se considera importante la distinción entre el Reactor de Lodos Activados (RLA) convencional para la remoción de nutrientes; y los Sistemas de Lodos Activados. El primero cuenta con reactores para los procesos de aireación, anoxia-agitada y sedimentación; prevé tiempos de residencia celular mayores a los lodos activados para remoción de materia orgánica, dado que las bacterias nitrificantes crecen más lentamente que las bacterias heterótrofas consumidoras de carbono; y requiere de una etapa anóxica con agitación continua, y materia orgánica degradable considerando que las bacterias responsables de la desnitrificación son heterótrofas.

Se han desarrollado varias tecnologías de tratamiento que se basan en los principios de los RLA, pero tienen variaciones en las configuraciones, que presentan ventajas en función de los tipos de efluente. Estos se engloban en lo que se puede denominar Sistemas de Lodos Activados, que comprende por ejemplo: la *N/D simultánea*, donde en el mismo reactor se promueven distintas zonas aerobias y anóxicas; *N/D intermitente*, se dan las etapas anóxicas y aireadas en el mismo reactor pero se alternan en el tiempo; *N/D en serie*, en la cual se reparte la entrada de efluentes, y de esta manera se genera un desequilibrio en los SST; *N/D en cascada* y *N/D alternada*. La mejor configuración a elegir depende de una cantidad de variables para el diseño, por mencionar algunas, el tipo de efluente, las cargas de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo a la entrada, la relación de cargas, otros contaminantes presentes como sulfuro y grasas, etc.

Cabe destacar, que los proyectos presentados por las industrias prioridad 1, comprenden las siguientes configuraciones: N/D simultánea; N/D intermitente; N/D en configuración de flujo pistón con selector anaerobio previo; N/D en cascada y SBR, entre otras. Esto se considera una fortaleza, por el hecho de que se han propuesto alternativas optimizadas según cada condición, de configuraciones que se han impuesto a nivel mundial.

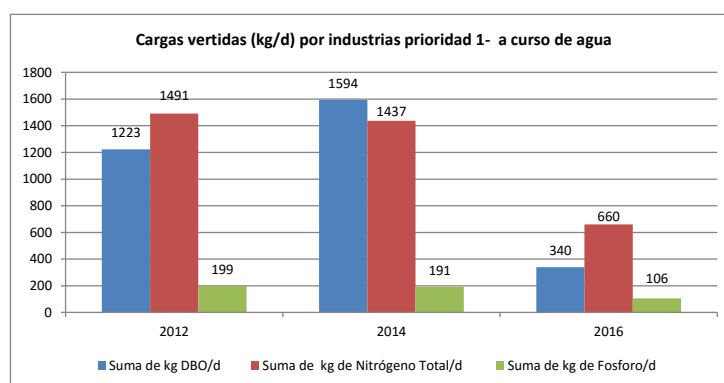
### MEJORAS PREVISTAS EN EL VERTIDO DE CARGAS PUNTUALES

Considerando las acciones tomadas para las industrias prioridad 1 de la cuenca, se planteó un escenario futuro en el cual éstas 24 industrias verterán dentro de los límites impuestos en la reglamentación. Este escenario se estima que ocurriría a fines del 2016, luego de que las plantas de tratamiento de efluentes entren en régimen.

En la elaboración del escenario futuro se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se planteó el caso de mayor producción y generación de caudales proyectado en cada SADI por lo tanto las cargas a verter serían las máximas, siempre teniendo en cuenta que las industrias cumplirán con los estándares establecidos.
- Respecto a las industrias que disponen sus efluentes mediante infiltración a terreno, no es posible proyectar un escenario futuro dado que para infiltración la normativa no establece límites máximos de vertido para nutrientes y carga orgánica.

Los resultados se presentan en las gráficas 9 y 10, donde se muestra las cargas reales vertidos para los años 2012 y 2014, y las proyectadas cuando los sistemas de tratamiento de remoción de nutrientes estén operando, que se prevé en el 2016.



Gráfica 9: cargas vertidas por industrias prioridad 1 a curso de agua



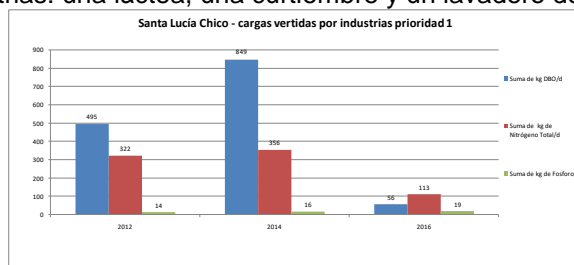


Gráfica 10: cargas vertidas por industrias prioridad 1 a curso de agua, por sector industrial

Sin embargo, el análisis anterior es interesante y necesario realizarlo a nivel de micro-cuencas, lo cual fue realizado, y se presenta a modo de ejemplo dos micro-cuencas.

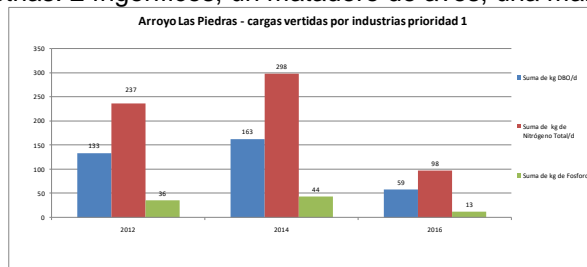
### Río Santa Lucía Chico, a la altura de la ciudad de Florida

Vierten las siguientes industrias: una láctea, una curtiembre y un lavadero de lana



### Arroyo Las Piedras

Vierten las siguientes industrias: 2 frigoríficos, un matadero de aves, una maltería y una textil



## CONCLUSIONES SOBRE EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA 1

La Medida 1 se encuentra en proceso de implementación, por lo cual no corresponde realizar conclusiones generales en este momento respecto a los objetivos planificados.

Sí corresponde destacar, que el Plan de Acción de la CRSL ha sido un punto de inflexión, en la búsqueda, aplicación y desarrollo de medidas específicas tendientes a la preservación de la calidad de los cuerpos de agua de nuestro país en lo que respecta a los nutrientes presentes en ellos.

En ese sentido las industrias ubicadas en la cuenca, se encuentran trabajando en la implementación de sistemas de remoción de nutrientes coherentes con de la tecnología y tipos de tratamientos que se utilizan a nivel internacional y particularmente en la Unión Europa; lo que está implicando un salto en tecnología, infraestructura, equipamiento y gestión de las plantas de tratamiento de efluentes. En particular esto implicará un cambio cualitativo de la gestión de las plantas de tratamiento de efluentes, donde el monitoreo y control operativo de su funcionamiento requerirán la inclusión de automatismos y especializaciones técnicas de sus operarios.

Referido a la gestión ambiental desde un sentido amplio, se presentan gran cantidad de desafíos, de los cuales se mencionarán tres:

- La necesidad de vincular las cargas vertidas con la calidad de los cursos a los cuales se vierten los efluentes, de forma de poder permitir la evaluación de la afectación que genera la industria al cuerpo de agua receptor, a los efectos de contar con una herramienta que permita evaluar esta incidencia y en función de esto determinar las acciones a tomar;
- La adecuación de las condiciones de autorización para la instalación de nuevas industrias o ampliación de las existentes, incorporando en el análisis, la evaluación de la capacidad del curso receptor para recibir esas nuevas cargas.
- Cambios sustanciales en la operación de las plantas de tratamiento de efluentes, dado que como se mencionó anteriormente estos sistemas requieren de nuevos controles operativos, continuos y con mediciones automáticas, la interpretación de esas mediciones, lo que supone personal técnico capacitado y dedicado a esas tareas.

## BIBLIOGRAFÍA

- “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía “  
[http://www.mvotma.gub.uy/images/santa\\_lucia/Presentaci%C3%B3n%20StaLucia%20220513.pdf](http://www.mvotma.gub.uy/images/santa_lucia/Presentaci%C3%B3n%20StaLucia%20220513.pdf)
- “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía - Informe de Avances”, junio 2015  
[http://mvotma.gub.uy/images/santa\\_lucia/informe%20%20junio%202015.pdf](http://mvotma.gub.uy/images/santa_lucia/informe%20%20junio%202015.pdf)
- Resolución Ministerial RM 966/2013, relativa a la Medida 1 para las industrias de prioridad 1 (establece condiciones adicionales al Dec 253/79 y que las industrias prioridad 1 deben presentar proyecto de ingeniería de sistema de tratamiento con remoción de nutrientes)  
<http://www.mvotma.gub.uy/ciudadania/item/10004802-rm-966-2013.html>
- Resolución Ministerial RM 212/2015, relativa a la Medida 1 para las industrias de prioridad 1 (otorga nuevos plazos para la finalización de las obras relativas a los sistemas de tratamiento de remoción de nutrientes)

## ANEXO 1

Los datos correspondientes a los vertidos de las industrias fueron procesados por la División Control Ambiental de Actividades; provienen de los datos informados y procesados de las empresas en los Informes Ambientales de Operación (IAO) y de los muestreos realizados en inspecciones de la DCAA para los años 2012 y 2014. Se cuenta con 1115 análisis para el año 2012, y 1220 análisis para el año 2014.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- a) Se calculan las cargas (kg/d) a partir de los datos medidos de concentración y caudal; y luego se promedian los valores de cargas para tener un dato anual de carga: kg contaminante/día, que corresponde a un promedio anual.
- b) Cada industria en función del caudal y ramo de actividad, tiene fijada una frecuencia de análisis (en general es mensual excepto para aquellas con pequeño caudal de efluente que es anual). Los resultados puntuales de la concentración medida, deben ser representativos de dicho período (mensual o anual), en caso contrario deben realizarse tantos análisis como para que la concentración informada sea representativa.
- c) El valor de concentración puntual (representativa del mes/año), se multiplica por el promedio del caudal para ese período.
- d) Para las industrias zafrales se toma el volumen anual total vertido, y se divide entre los 12 meses del año 22 días de trabajo por mes.

Es importante aclarar que los resultados obtenidos tienen cierto margen de error. En primer lugar la información presentada por las industrias no ha sido verificada al 100% respecto a la representatividad declarada, y adicionalmente el procedimiento de cálculo no tiene una rigurosidad estadística. Por otra parte, es importante indicar que el DCAA realiza un análisis individual para las industrias que son significativas desde el punto de vista ambiental. Además este análisis de información se ha realizado para los años 2010 al 2014, siendo este consistente año a año.